

ESTUDO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO DESENVOLVIDO COM RESÍDUOS DE PVC

Roberto Murad Mouchrek (UFPA) E-mail: robertomouchrek@yahoo.com.br

Marcelo de Souza Picanço (UFPA) E-mail: marcelosp@ufpa.br

Myrela Vieira de Araújo (UFPA) E-mail: myrelav.araujo@gmail.com

Resumo: O estudo visa avaliar o comportamento mecânico através da análise da resistência à compressão do concreto produzido com resíduos de PVC como agregado graúdo, substituindo parcialmente o pó de brita. Foram desenvolvidos corpos de prova com percentuais de 25%, 50% e 75% de PVC, sendo as três porcentagens ensaiadas após 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura úmida, com a finalidade de comparar o comportamento do pó de brita e das diferentes porcentagens de PVC na mistura. Conforme os resultados, para os corpos de prova com 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura, a média da resistência a compressão foi maior nas amostras de 25%, 50% e 25% de PVC, respectivamente. Entre elas, a de maior resistência foi aos 28 dias com percentual de 25% de PVC, com uma média de 45,12 MPa. Para o meio científico, este trabalho tem grande relevância, uma vez que utilizar os resíduos de PVC na construção civil é uma forma de contribuir para o atendimento de exigências de desenvolvimento sustentável, sendo vantajoso em comparação a muitos materiais convencionais por possuir desempenho otimizado, durabilidade superior e melhor custo-benefício.

Palavras-chave: Resistência à compressão, resíduos, PVC, construção civil, desenvolvimento sustentável.

STUDY OF THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE DEVELOPED WITH PVC WASTE

Abstract: The study aims to evaluate the mechanical behavior through the analysis of the compressive strength of the concrete produced with PVC waste as coarse aggregate, partially replacing the gravel powder. Specimens were developed with percentages of 25%, 50% and 75% PVC, the three percentages being tested after 7 days, 14 days and 28 days of wet curing, in order to compare the behavior of gravel powder and different percentages of PVC in the mix. According to the results, for specimens with 7 days, 14 days and 28 days of cure, the average compressive strength was higher in samples of 25%, 50% and 25% PVC, respectively. Among them, the most resistant was at 28 days with a percentage of 25% PVC, with an average of 45.12 MPa. For the scientific community, this work has great relevance, since using PVC waste in civil construction is a way to contribute to meeting sustainable development requirements, being advantageous in comparison to many conventional materials because it has optimized performance, durability superior and cost-effective.

Keywords: Compressive strength; waste; PVC; civil construction; sustainable development.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é a principal fonte de poluição ambiental em comparação com outras indústrias (SHEN et al., 2005). Isso porque qualquer procedimento de construção abrange o emprego de recursos naturais, variados equipamentos e produção de muitos poluentes, tais como resíduos sólidos e líquidos, contaminação do solo e da água, perda de plantas e fauna terrestre (LI et al., 2010; ENSHASSI et al., 2014). Ademais, vale ressaltar que os projetos de construção são responsáveis pelo consumo de energia, impactos ambientais e sociais (CHANG et al., 2011). Esse efeito foi reconhecido recentemente em todo mundo e atualmente é exigido por lei a avaliação de impactos ambientais nas atividades de construção (AYARKWA et al., 2014).

O progresso de urbanização vem cooperando para o desenvolvimento da indústria da construção civil, influenciando para o aumento de impactos na natureza. O volume de resíduos da construção e demolição (RCD) tem afetado a qualidade de vida principalmente

das cidades de médio e grande porte em diversos países (SANTOS et al., 2015). No Brasil, a grande quantidade de RCD corresponde mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos (MARINHO; SILVA, 2012). Esse material envolve um elevado espaço nos aterros, sendo numerosas vezes desfeitas com negligência, resultando em complicações no meio ambiente e consequentemente na saúde pública (SANTOS et al., 2015).

O aprimoramento e inovação das técnicas construtivas enfrentam muitos problemas e na construção civil, um dos questionamentos feitos é o que será do mercado se os recursos naturais se tornarem escassos. Por isso, muitas empresas de construção civil frequentemente procuram desenvolver novos parâmetros para seus produtos de modo que estes não afetem o ambiente em larga escala, ou seja, materiais que possam ser sustentáveis. Quando se fala no termo sustentabilidade, logo definem como o desenvolvimento sem agressão ao meio ambiente e sua preservação para as gerações futuras. De fato, a exploração dos recursos naturais sem nenhum controle tem causado graves problemas ambientais, além da geração de milhares de entulhos nas regiões urbanas.

A geração de resíduos é julgada como uma falha da sociedade. Dessa forma, algumas atitudes são praticadas a fim de reduzir os resíduos, como o reparo e a manutenção, uma vez que melhoram a sustentabilidade. Outra ação é a reutilização e reciclagem, de forma a circular a economia, se tornando uma oportunidade lucrativa, por exemplo, a petrificação que transforma estruturas abandonadas em propriedades desejáveis e coisas antigas em vintage. Um ladrilho quebrado pode ser utilizada, por exemplo, em um pavimento de mosaico (ERIKSEN; SCHOBBER, 2017a; MARTÍNEZ, 2017; KOUTAMANIS, 2020). De acordo com Guizard et al. (2006), a história do desenvolvimento do gerenciamento dos resíduos sólidos possui relação com inúmeros fatores, tais como a disponibilidade de áreas, clima, educação, cultura, economia, entre outros.

1.1 Uso de aglomerados na construção civil

Materiais como areia e brita são comumente empregados na construção civil, visto que possui variadas aplicações em edificações e em obras de infraestrutura. O seu consumo vem crescendo em razão da rápida urbanização e industrialização, sendo usada como componente principal, somando a outros elementos de diversos materiais de construção, como argamassa, ladrilho, tijolos, cerâmica. Além disso, a areia pode ser empregada na filtragem de água, produtos químicos, processamento de metais e na indústria de plásticos. Por isso, há um crescimento exponencial do consumo, tendência esta que continua devido ao crescimento populacional e aumento dos padrões de vida (GAVRILETEA, 2017). Na Europa, é estimado um consumo de 3×10^9 toneladas. Nos Estados Unidos, a necessidade anual de agregados para construção alcançou em torno de 10 toneladas/capita (TIESS; KRIZ, 2011; JAEGER, 2006).

Com as múltiplas aplicações, a areia vem se tornado o recurso natural mais utilizado na Terra, depois da água doce (VILLIOTH, 2014). De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, a areia e a brita representam um dos maiores volumes de matéria-prima usada na Terra, fazendo com que seu uso possa ultrapassar as taxas naturais de renovação (UNEP, 2014). Uma visão convencional é que existem, para fins práticos, recursos infinitos de areia, brita e pedra na Terra para uso humano. Porém, devido a grande aceleração na extração do material, essa visão torna-se precipitada (STEFFEN et al., 2015). A partir disso, aliando a necessidade de reduzir os impactos ambientais com a utilidade do material na área da engenharia civil, é preciso utilizar novos materiais para construção civil que estejam associada ao desenvolvimento sustentável.

1.2 Aplicações de policloreto de vinila na construção civil

Com uma fabricação mundial de aproximadamente 30 milhões de toneladas, o segundo termoplástico mais consumido em volume no mundo é o policloreto de vinila (PVC) (BORGES, 2004). O PVC é o mais versátil entre os plásticos, podendo ter suas características modificadas dentro de um amplo campo de funções. Isso ocorre devido ao fato desta resina combinar-se com muitos aditivos, resultando em produtos rígidos até algo extremamente flexível (SANTOS; FERRARI, 2019). Em razão ao baixo custo de seu processamento, combinado com boas propriedades físicas, químicas e mecânicas, o PVC vem se tornando um polímero universal com muitas aplicações, como tubos, perfis, pisos, revestimentos de fios, embalagens, entre outras (RODRIGUES et al., 2010).

O segmento da construção civil é responsável pelo consumo de mais de 60% do PVC fabricado no Brasil (LIMA; ROCHA; KONAGNO, 2012), sendo estes empregados principalmente na fabricação de tubos e conexões hidráulicos para instalações prediais, apresentando vantagem em comparação aos tubos de aço galvanizado, uma vez que são suscetíveis de oxidação. De acordo com o Instituto do PVC (2016), o policloreto de vinila desenvolve ciclos longos de vida útil, que estão associados às suas aplicações, podendo ser moído, injetado, moldado, extrudado, entre outros (RODOLFO JUNIOR; NUNES; ORMANJI, 2006). Este material pode ser utilizado para reciclagem, sendo a forma mecânica mais apropriada e o aperfeiçoamento dos métodos e a aplicação de medidas racionais podem contribuir para aumentar a eficácia de produção na construção civil (SANTOS; FERRARI, 2019).

Nesta perspectiva, a presente pesquisa visa avaliar o comportamento mecânico através da análise da resistência à compressão do concreto produzido com resíduos de PVC como agregado graúdo, substituindo parcialmente o pó de brita. Para isto, serão desenvolvidos corpos de prova com percentuais de 25%, 50% e 75% de PVC, sendo as três porcentagens ensaiadas após 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura úmida.

2. METODOLOGIA

A fim de determinar a resistência a compressão do concreto desenvolvido com resíduos de PVC, a pesquisa produziu corpos de prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura com percentuais de 25%, 50% e 75% de policloreto de vinila em substituição parcial ao pó de brita. Para cada percentual desse polímero, os corpos de prova foram ensaiados aos 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura úmida. A Tabela 1 abaixo contém a quantidade de amostras que foram confeccionadas para cada percentual de PVC com seus respectivos dias de cura úmida.

Tabela 1 – Programa experimental das misturas

Terminologia	Dias de cura úmida	Percentual de PVC	Número de corpos de prova
PVC25% - 1	7 dias	25%	3
PVC25% - 2	14 dias	25%	3
PVC25% - 3	28 dias	25%	3
PVC50% - 1	7 dias	50%	3
PVC50% - 2	14 dias	50%	3
PVC50% - 3	28 dias	50%	3
PVC75% - 1	7 dias	75%	3
PVC75% - 2	14 dias	75%	3
PVC75% - 3	28 dias	75%	3
Nº TOTAL DE CORPOS DE PROVA			27

Fonte: Autores (2021)

Os materiais empregados para a elaboração das amostras foram Cimento Portland CP-32, areia média, pó de brita e resíduo de forro de PVC de uma sala do curso de arquitetura da Instituição Federal do Maranhão (IFMA). A quantidade de cada material que foi utilizado para a produção de um corpo de prova cilíndrico é verificada na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Traço do material em massa para a composição de um corpo de prova

Nomenclatura	Cimento	Areia	Pó de Brita	PVC	Água
(Referencial)	195g	700g	700g	-	1,150l
25% PVC	195g	700g	525g	175g	1,150l
50% PVC	195g	700g	350g	350g	1,150l
75% PVC	195g	700g	175g	525g	1,150l
100% PVC	195g	700g	-	700g	1,150l

Fonte: Autores (2021)

Os corpos de prova cilíndricos foram moldados seguindo o estabelecido na norma NBR 7215:2019 (Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão), na qual os moldes foram preenchidos em quatro camadas de alturas aproximadas aplicando 30 golpes com soquete em cada camada. A moldagem foi finalizada com a rasadura do topo dos moldes. Após 48 horas de cura inicial ao ar, os corpos de prova foram desmoldados e permaneceram imersos em tanque com água até serem ensaiados aos 7 dias, 14 dias e 28 dias. A preparação dos resíduos de PVC para ser introduzida na mistura é dada inicialmente por cortes em fragmentos menores e em seguida, o resíduo é triturado em liquidificador. As etapas são visualizadas na Figura 1. Na Figura 2 contém o material PVC adicionado ao pó de brita.

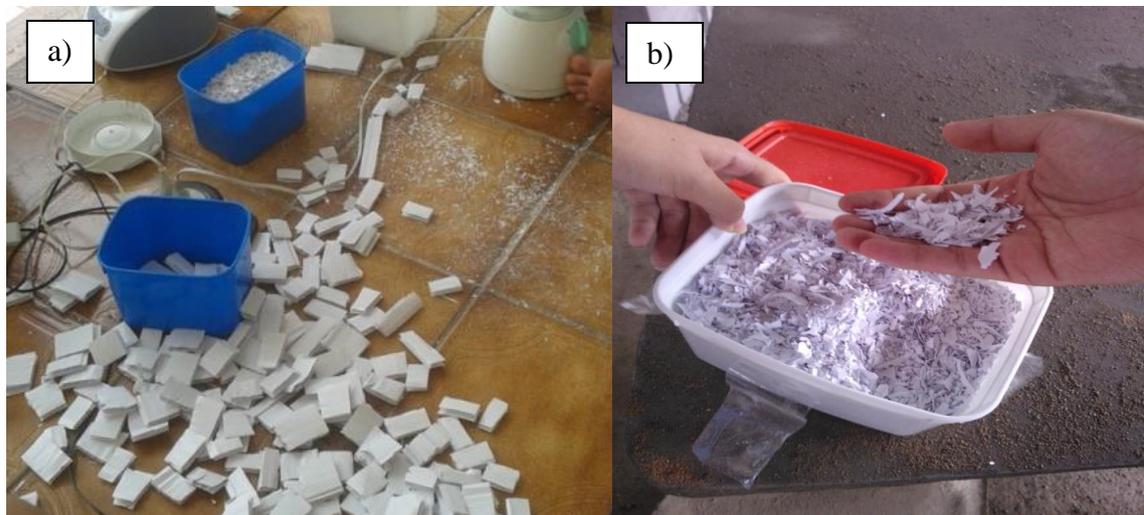


Figura 1 – Resíduo de forro de PVC a) cortados em fragmentos menores, b) triturados em liquidificador



Figura 2 – Resíduos de PVC incorporados à mistura

Após os dias de cura úmida determinados para cada corpo de prova cilíndrico, foi realizado o ensaio de resistência à compressão, conforme a ABNT NBR 5739:2018 (Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos). Através dos valores da carga máxima registrada, a resistência à compressão foi calculada conforme a Equação 1.

$$f_c = \frac{4F}{\pi.D^2} \quad (1)$$

Em que f_c é a resistência à compressão em megapascals (MPa), F é a carga máxima alcançada em newtons (N) e D o diâmetro do corpo de prova, em milímetros (mm).

3. RESULTADOS

As Tabelas 3, 4 e 5 abaixo apresentam os valores dos resultados do ensaio de resistência à compressão, realizada conforme a ABNT NBR 5739:2018, com resultado em megapascal (MPa) estimados aos 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura úmida para cada percentual de PVC. A Figura 3 apresenta o corpo de prova deformado após o ensaio.

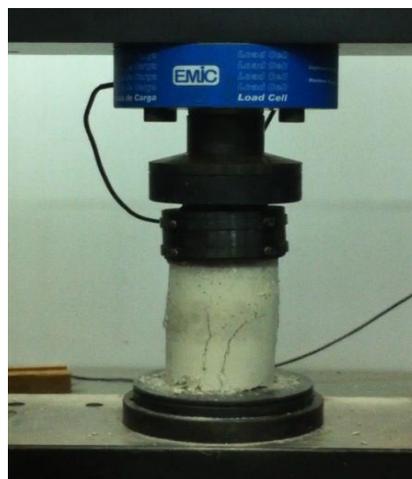


Figura 3 – Configuração externa do corpo de prova após ensaio

Tabela 3 – Valores da resistência à compressão aos 7 dias de cura úmida

Bloco de cimento-brita 25% PVC			
Corpo de Prova	Área	Força máxima	Resistência à compressão
C1	7853,98mm ²	26068,88kgf	33,19MPa
C2	7853,98mm ²	21879,95kgf	27,85MPa
C3	7853,98mm ²	24679,94kgf	31,42MPa
Bloco de cimento-brita 50% PVC			
Corpo de Prova	Área	Força máxima	Resistência à compressão
C4	7853,98mm ²	23162,28kgf	29,49MPa
C5	7853,98mm ²	23777,79kgf	30,27MPa
C6	7853,98mm ²	14741,19kgf	18,76MPa
Bloco de cimento-brita 75% PVC			
Corpo de Prova	Área	Força máxima	Resistência à compressão
C7	7853,98mm ²	20172,20kgf	25,68MPa
C8	7853,98mm ²	19440,02kgf	24,75MPa
C9	7853,98mm ²	24859,97kgf	31,65MPa

Fonte: Autores (2021)

Tabela 4 – Valores da resistência à compressão aos 14 dias de cura úmida

Bloco de cimento-brita 25% PVC			
Corpo de Prova	Área	Força máxima	Resistência à compressão
C10	7853,98mm ²	18803,39kgf	23,94MPa
C11	7853,98mm ²	25655,42kgf	32,66MPa
C12	7853,98mm ²	27086,70kgf	34,48MPa
Bloco de cimento-brita 50% PVC			
Corpo de Prova	Área	Força máxima	Resistência à compressão
C13	7853,98mm ²	25220,30kgf	32,11MPa
C14	7853,98mm ²	29388,84kgf	37,41MPa
C15	7853,98mm ²	24308,20kgf	30,95MPa
Bloco de cimento-brita 75% PVC			
Corpo de Prova	Área	Força máxima	Resistência à compressão
C16	7853,98mm ²	24637,70kgf	31,36 MPa
C17	7853,98mm ²	29102,02kgf	37,05 MPa
C18	7853,98mm ²	23502,20kgf	29,92 MPa

Fonte: Autores (2021)

Tabela 5 – Valores da resistência à compressão aos 28 dias de cura úmida

Bloco de cimento-brita 25% PVC			
Corpo de Prova	Área	Força máxima	Resistência à compressão
C19	7853,98mm ²	34160,90kgf	43,49MPa
C20	7853,98mm ²	39845,60kgf	50,37MPa

C21	7853,98mm ²	32601,20kgf	41,51MPa
Bloco de cimento-brita 50% PVC			
Corpo de Prova	Área	Força máxima	Resistência à compressão
C22	7853,98mm ²	34404,50kgf	43,80MPa
C23	7853,98mm ²	28476,35kgf	36,25MPa
C24	7853,98mm ²	37056,63kgf	47,18MPa
Bloco de cimento-brita 75% PVC			
Corpo de Prova	Área	Força máxima	Resistência à compressão
C25	7853,98mm ²	29208,10kgf	37,18MPa
C26	7853,98mm ²	34235,25kgf	43,58MPa
C27	7853,98mm ²	29738,30kgf	37,86MPa

Através da análise da Tabela 3, a maior resistência à compressão de todos os percentuais apresentados para a idade de cura de 7 dias é 33,19 MPa. Esse valor foi encontrado no primeiro corpo de prova com percentual de 25% de PVC. Na Tabela 4, na qual as amostras foram submetidas aos 14 dias de cura úmida, o corpo de prova com maior resistência à compressão foi o C12, com 37,41 MPa e 50% de PVC substituindo o pó de brita. A Tabela 5, que compõe os corpos de prova com 28 dias de idade, a amostra de maior resistência à compressão foi o C20, com 50,37 MPa com 25% de PVC na mistura.

O fato de menores percentuais de PVC obterem maior resistência à compressão confirma as recomendações de Sharma e Bansal (2016), que declaram que os materiais poliméricos tendem a diminuir a resistência à compressão do concreto. Porém, os valores do ensaio mecânico obtidos encontram-se consistentes e propícios, principalmente as amostras com 25% de substituição de pó de brita por PVC. A Figura 4 abaixo contém os valores médios da resistência à compressão avaliados aos 7 dias, 14 dias e 28 dias de idade para cada porcentagem de PVC.

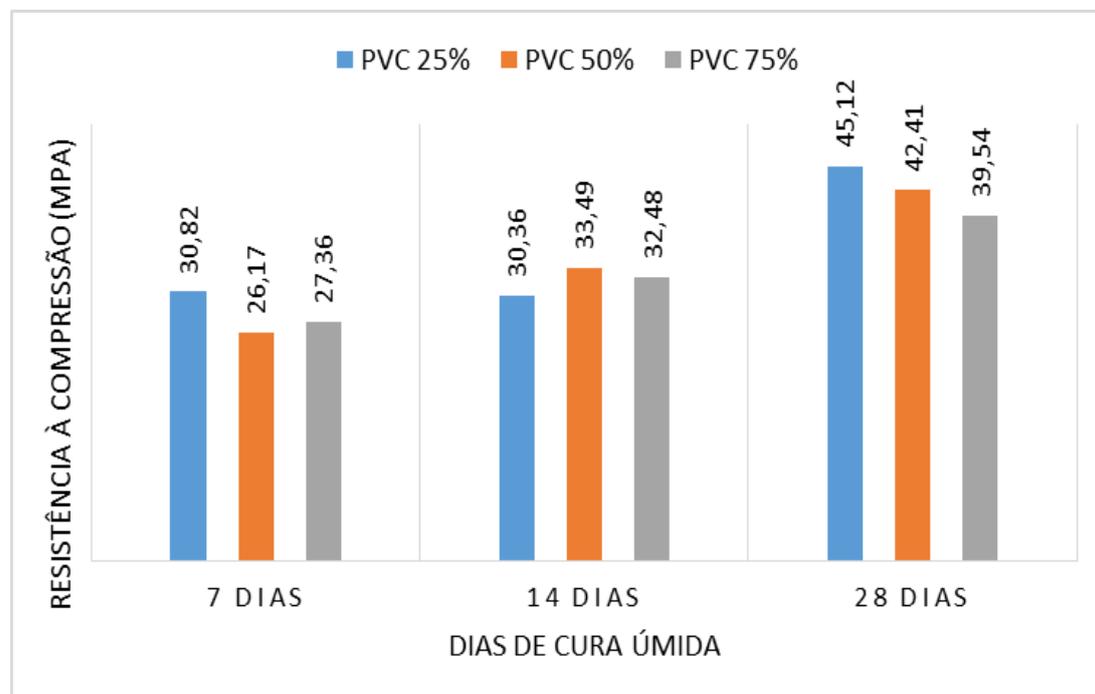


Figura 4 – Número médio da resistência à compressão dos corpos de prova para cada percentual de PVC com seus respectivos dias de cura úmida.

Através de uma análise do gráfico na Figura 4, observa-se melhor as amostras que obtiveram maior resistência à compressão para cada porcentagem de PVC com seus respectivos dias de cura úmida. Dessa forma, a maior resistência média obtida para os 7 dias de idade foi com 25% de PVC em substituição ao pó de brita, com 30,82 MPa. Aos 14 dias, a resistência mais elevada foi obtida com 50% de PVC, com 33,49 MPa. Por último, aos 28 dias, a resistência média de maior alcance foi com 25% de PVC no valor de 45,12 MPa.

4. CONCLUSÃO

Nesta pesquisa foi analisada a resistência mecânica à compressão axial de corpos de prova que receberam em sua composição resíduos de forro de PVC triturados em substituição parcial de 25%, 50% e 75% do pó de brita, avaliados aos 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura úmida.

Relacionando todas as resistências dos traços que compreendiam o resíduo de PVC, o vigésimo corpo de prova (C20) alcançou a maior resistência à compressão, na qual possuía 25% de PVC. Verificou-se também que o maior número de corpos de prova que obtiveram melhor comportamento mecânico foram aqueles que possuíam menor porcentagem de resíduos de PVC em sua composição. Contudo, para todos os tipos de traço e suas respectivas idades, o resultado da resistência obtida foi favorável.

Dessa forma, o emprego de resíduo de PVC como substituto parcial do pó de brita para produção do concreto é um conceito possível, considerando o comportamento mecânico, sendo necessário outros ensaios para confirmar a viabilidade do produto, como teste de permeabilidade, resistência a tração, avaliação morfológica, entre outros. Além disso, o emprego do PVC é avaliado como ambientalmente viável, uma vez que o PVC é 100% reciclável, isto é, tudo aquilo que é fabricado de PVC pode tornar-se outra peça totalmente diferente sem a necessidade de extrair-se matéria-prima da natureza e consumindo menos energia, preservando o meio ambiente e seus recursos naturais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.* NBR 7215. Rio de Janeiro. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.* NBR 5739. Rio de Janeiro. 2018.
- AYARKWA, J.; ACHEAMPONG, A.; HACKMAN, J. K.; AGYEKUM, K.** *Environmental Impact of Construction Site Activities in Ghana.* ADRRI Journal, v. 9, n. 2, p. 1-19, 2014.
- BORGES, F. J.** *Inventário do ciclo de vida do PVC produzido no Brasil.* 174 f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Química, São Paulo, 2004.
- CHANG Y.; RIES R. J.; WANG Y.** *The quantification of the embodied impacts of construction projects on energy, environment, and society based on I-O LCA.* Energy Police, v. 39 n. 10, p. 6321-6330, 2011.
- ENSHASSI, A; KOCHENDOERFER, B.; RIZQ, E.** *An evaluation of environmental impacts of construction projects.* Revista Ingeniería de Construcción, v. 29, n. 3, p. 1-15, 2014.
- ERIKSEN, T.H.; SCHOBBER, E.** *A brief response.* Social Anthropology, v. 25, p. 351-352, 2017a.
- GAVRILETEA, M.** *Environmental impacts of sand exploitation. analysis of sand market.* Sustainability, v. 9, n. 7, p. 1118, 2017.

GUIZARD, J. B. R.; RAFALDINI, M. E.; PONTES, F. F. F.; BRONZEL D.; PERES C. R.; FERREIRA, E. R.; REIS, F. A. G. V. *Aterro sanitário de Limeira: Diagnóstico Ambiental*. Revista Engenharia Ambiental: pesquisa e tecnologia, v. 3, n. 1, p. 072-081, 2006.

INSTITUTO DO PVC. *O PVC e o Meio Ambiente (2016)*. Disponível em: <http://www.institutodopvc.org/meioamb.htm> Acesso em: 19 ago. 2018.

JAEGER, W. K. *The hidden costs of relocating sand and gravel mines*. Resources Policy, v. 31, n. 3, p. 146-164, 2006.

KOUTAMANIS, A.; VAN REIJN, B.; VAN BUEREN, E. *Urban mining and buildings: a review of possibilities and limitations*. Resources, Conservation and Recycling, v. 138, p. 32-39, 2018.

LI X.; ZHU Y.; ZHANG Z. *An LCA-Based Environmental Impact Assessment Model for Construction Processes*. Building and Environmen, v. 45, n. 3, p. 766-775, 2010.

LIMA, A. C.; ROCHA, G. S.; KONAGANO, N. Y. H. *A utilização de plásticos na Construção Civil*. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. 2012.

MARINHO, J. L. A.; SILVA, J. D. *Gerenciamento dos resíduos da construção e demolição: diretrizes para o crescimento sustentável da construção civil na região metropolitana do cariri cearense*. E-Tech: Tecnologias para competitividade industrial. Florianópolis, v. 5, n. 1, p. 102-119, 2012.

MARTÍNEZ, F. *Waste is not the end. For an anthropology of care, maintenance and repair*. Social Anthropology, v. 25, p. 346-350, 2017.

RODOLFO JUNIOR, A.; NUNES, L. R.; ORMANJI, W. *Tecnologia do PVC*. 2. ed., revista e ampliada, São Paulo: Pro, 2006.

RODRIGUES, E. A. N.; WOELFFEL A. B.; BERNABÉ A. C. A.; FANTICELE F. B.; ALVAREZ, C. E. *O uso do PVC para construção em áreas de difícil acesso e com interesse científico/ambiental: a estação científica da ilha da trindade*. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2010.

SANTOS, A. G.; FERRARI, A. K. *Influência do resíduo de PVC como agregado no concreto para peças de pavimentos intertravados*. Ambiente Construído, v. 19, n. 3, 2019.

SANTOS, S. F.; MEJIA J.; TONOLI GHD.; FIORELLE. *Non-conventional cement-based composites reinforced with vegetable fibers: A review of strategies to improve durability*. Materiales de Construcción, v. 65, n. 317, p. 1-20, 26 jan. 2015.

SHARMA, R.; BANSAL, P. *Use of Different Forms of Waste Plastic in Concrete: a review*. Journal of Cleaner Production, v. 112, p. 473-482, 2016.

SHEN L. Y.; LU W. S.; YAO H.; WU D. H. *A computer-based scoring method for measuring the environmental performance of construction activities*. Automation in Construction, v. 14, n. 13, p. 297-309, 2005.

STEFFEN W.; BROADGATE W.; DEUTSCH L.; GAFFNEY O.; LUDWIG C. *The trajectories of the anthropocene: the great acceleration*. The anthropocene review, p. 1-18, 2015.

TISS, G.; KRIZ, A. *Aggregates resources policies in Europe*. International Journal of Environmental Protection, v. 1, n. 3, p. 63-66, 2011.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). *Sand, Rarer Than One Thinks*. March 2014. Available online: http://www.unep.org/pdf/UNEP_GEAS_March_2014.pdf. Acesso em: 26 de jan. 2021.

VILLIOTH, J. *Building an Economy on Quicksand*. August 2014. Disponível em: <http://www.ejolt.org/2014/08/building-an-economy-on-quicksand/>. Acesso em: 26 de jan. 2016.