



UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE GARRAFAS DE VIDRO LONG NECK EM SUBSTITUIÇÃO DE AREIA EM ARGAMASSA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.5.22.XV-004>

Laura Posser Donadel (*), Juliana Ferreira Soares, Alexandre Swarowsky

* Universidade Franciscana, laurapdonadel@gmail.com

RESUMO

A alta demanda de areia extraída de leitos de rios para ser utilizada na construção civil é prevalecte no consumo dos recursos naturais, sendo uma das grandes causas da retirada da cobertura vegetal e da degradação dos cursos d'água. Outro problema atual é o grande descarte de garrafas de vidro em aterros sanitário. Unindo essas duas problemáticas, objetiva-se nesse trabalho proporcionar uma destinação alternativa para resíduos de garrafas de vidro não retornáveis (*long neck*), substituindo a areia no traço de argamassa por fragmento de vidro moído. O experimento foi dirigido pela ABNT NBR 7215 (ABNT, 1996), em que a areia da argamassa foi substituída por resíduo de vidro moído nas proporções 0, 25, 50, 75%. A resistência à compressão mecânica da argamassa foi realizada em uma prensa hidráulica, na qual se obteve os resultados, respectivamente aos traços sugeridos, para 8 dias de 4,36, 3,65, 2,33 e 2,06 MPa e para 28 dias de 5,24, 3,83, 4,91 e 6,50 MPa. Estes valores satisfazem plenamente as exigências da ABNT NBR 13281 (ABNT, 2005), mostrando que a substituição proposta apresenta bons resultados em relação à resistência à compressão.

PALAVRAS-CHAVE: Construção civil, resíduo vítreo, reaproveitamento, matéria-prima sustentável.

ABSTRACT

The high demand for sand extracted from river beds to be used in civil construction is prevalent in the consumption of natural resources, being one of the major causes of the removal of vegetation cover and the degradation of water courses. Another current problem is the large disposal of glass bottles in landfills. Combining these two problems, the objective of this work is to provide an alternative destination for waste from non-returnable glass bottles (*long neck*), replacing the sand in the mortar with a fragment of ground glass. The experiment was conducted by ABNT NBR 7215 (ABNT, 1996), in which the mortar sand was replaced by glass residue and ground in proportions of 0, 25, 50, and 75%. The mechanical compressive strength of the mortar was performed in a hydraulic press, in which the results were obtained, respectively to the suggested traces, for 8 days of 4.36, 3.65, 2.33, and 2.06 MPa and for 28 days of 5.24, 3.83, 4.91, and 6.50 MPa. These values fully satisfy the requirements of ABNT NBR 13281 (ABNT, 2005), showing that the proposed replacement presents good results in relation to compressive strength.

KEY WORDS: Civil construction, waste glass, reuse, sustainable raw material.



INTRODUÇÃO

Em escala global, a indústria da construção civil consome 12-16% de toda a água disponível, 40% da produção total de energia, 32% de recursos renováveis e não renováveis, 25% de toda madeira, 40% de todas as matérias-primas, gera de 30 a 40% de todos os resíduos sólidos e emite 35% de CO₂ (DARKO et al., 2017). De acordo com a ANEPAC (2015), em 2014, o consumo de agregados atingiu 741 milhões de toneladas, sendo 439 milhões de toneladas referentes a areia e 302 milhões de toneladas referentes a brita.

Um dos materiais mais importantes na construção civil é a argamassa, a qual é utilizada no assentamento de blocos e no revestimento de paredes e tetos, proporcionando conforto térmico e acústico nas edificações. A utilização de argamassa aumenta o consumo tanto de cimento como de agregados (areia) (OLIVEIRA et al., 2020). Geralmente, a areia é extraída dos leitos dos rios, o que pode levar a sérios danos ambientais devido a retirada da cobertura vegetal e a degradação dos cursos d'água. Para contornar esses problemas, estudos têm sido desenvolvidos para incorporar resíduos em substituição da areia na argamassa, como, por exemplo, resíduos de vidro.

De acordo com a norma ABNT NBR 10.004 (ABNT 2004), o resíduo de vidro enquadra-se na classe II B, ou seja, não perigoso e inerte. Isso significa que quando submetidos a um contato dinâmico ou estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não possuem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Em 2021, o Brasil gerou cerca de 82,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, sendo que apenas 45,8 milhões de toneladas foram destinados ao aterro sanitário (ABRELPE, 2021). De acordo com a Abrelpe (2021), o volume coletado de resíduos de vidro em 2019 no Brasil foi de 52 mil toneladas. Além do reduzido volume coletado, o preço médio dos vidros apresentou menor média de preços quando comparado aos demais materiais recicláveis (R\$0,08/kg). Essa desvalorização resulta na falta de interesse em coletar e reciclar esses tipos de materiais.

Para Alves (2008) a pesquisa com foco no desenvolvimento de tecnologias e processos que objetivam proporcionar a reciclagem de resíduos é importante tanto do ponto de vista econômico quanto social. Porém, o resíduo deve apresentar grandes volumes gerados, baixo custo de aquisição, propriedades que atestem bom desempenho para a aplicação desejada e, também, problemas ambientais com sua estocagem, desta forma, quando forem utilizados, este problema será minimizado ou eliminado.

O resíduo de vidro, pelas suas propriedades, se enquadra em todas as características descritas anteriormente. Oliveira et al. (2012) concluíram que a substituição de areia por resíduo de vidro tende a reduzir o custo da argamassa uma vez que reduz a quantidade de areia. Além disso, ressaltam que esse tipo de reaproveitamento constitui um material de construção sustentável, diminuindo o consumo de recurso natural e dando uma destinação adequada ao vidro que antes era inutilizado, na proporção de até 20% de substituição da areia normal por resíduo de vidro moído. Já Koller et al. (2007), verificaram que com 25% é viável fazer a substituição de areia por resíduo de vidro devido seus bons resultados de resistência à compressão.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi proporcionar uma destinação alternativa para resíduos de garrafas de vidro não retornáveis (*long neck*), sendo esta, a substituição da areia no traço de argamassa por fragmento de vidro moído. Para isto, foram produzidos corpos de prova com diferentes porcentagens de substituição do resíduo de vidro e realizados ensaios de resistência à compressão mecânica para avaliar sua viabilidade.

METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido no município de Santa Maria/RS, no Laboratório de Argamassa e Concreto da Universidade Franciscana (UFN). O vidro utilizado nos ensaios foi de garrafas do tipo *long neck* transparente. Após a coleta, foi realizada a limpeza do material e remoção dos rótulos. A moagem das garrafas foi realizada, inicialmente, de forma manual, em um recipiente metálico vedado com isopor, onde realizaram-se choques com um socador de ferro cilíndrico contra a garrafa até o vidro virar pequenos fragmentos (Figura 1).

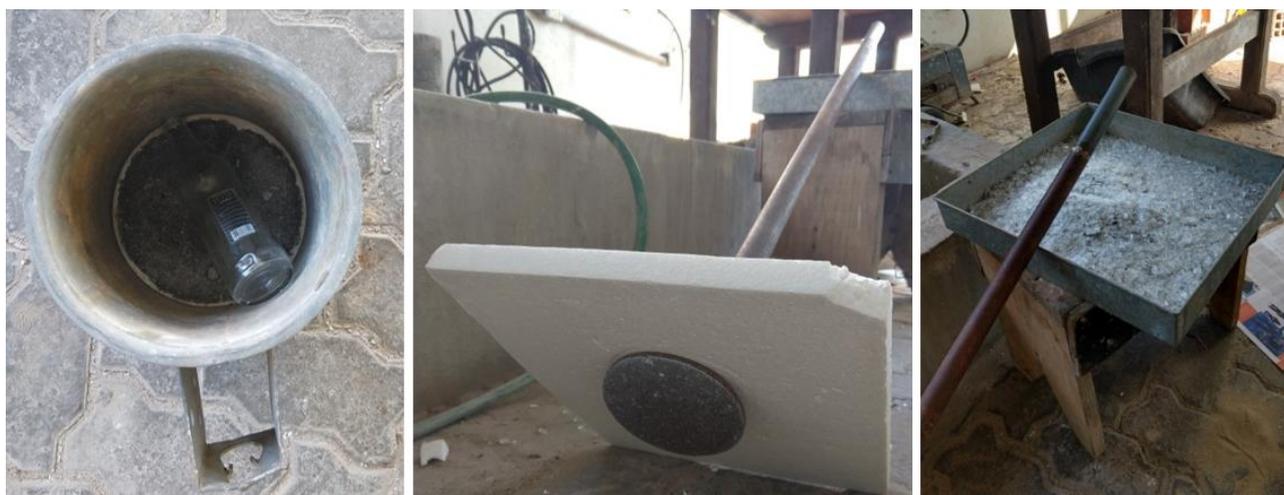


Figura 1: Processo de moagem manual das garrafas long neck. Fonte: Autora do Trabalho.

Para obter as granulometrias exigidas pela ABNT NBR 7214 (ABNT, 2015) nas frações nº 30, 50 e 100, foi necessário submeter o vidro triturado manualmente à um processo de moagem mecânica. Para isto, utilizou-se um moinho de bolas (SERVITECH, modelo CT-241), onde foram adicionados os fragmentos de vidro junto às cargas esféricas de alumínio, responsáveis pela moagem juntamente com um movimento centrífugo do equipamento. O tempo necessário para cada carga foi entre 3 e 15 min para obter as diferentes granulometrias.

Após a moagem, o material passou por um processo de peneiramento para que atendesse as especificações da ABNT NBR 9290 (ABNT, 1996), a qual estabelece que a areia utilizada para preparação de argamassas deve conter partes iguais em massa das frações nº 30, 50 e 100. Para isto, o material moído foi colocado em peneiras com telas metálicas conforme a ABNT NBR 7214 (ABNT, 2015), de nº 16 (fração grossa); nº 30 (fração média grossa); nº 50 (fração média fina); nº 100 (fração fina), onde o material final retido nas peneiras nº 30, nº 50 e nº 100 deve conter diâmetro entre 0,15 a 1,2 mm.

A argamassa tem como propósito o uso em revestimento de edificações a qual se caracteriza por aprimorar o acabamento e aumentar o conforto termo acústico de uma edificação. Esta se divide em chapisco, emboço e reboco (RIBEIRO, 2002). Neste caso, trabalhou-se com a argamassa de revestimento tipo reboco. A Tabela 1 mostra os diferentes traços estudados, ou seja, a substituição de areia por resíduo de vidro de garrafas *long neck*.

Tabela 1. Porcentagem de substituição de areia natural por vidro de garrafas *long neck*.

Fonte: Autora do Trabalho.

Areia	Vidro moído
100%	0% (Padrão)
75%	25%
50%	50%
25%	75%

A mistura da argamassa foi realizada conforme a ABNT NBR 7215 (ABNT, 2019). Argamassa à base de cimento e cal virgem foi preparada utilizando um misturador mecânico planetário (Matest), onde foram adicionados 250 g de cimento Portland (CP IV-34), 500 g de cal e 460 mL de água para realizar o início da mistura durante 30 segundos em baixa rotação (140 rpm). Após esse tempo, foi adicionado gradativamente 1500 g de areia e vidro seguindo as percentagens propostas na Tabela 1. Depois da adição, o misturador foi colocado alta rotação (285 rpm) por mais 30 segundos. Logo após, a mistura descansou por 90 segundos, e então colocou-se novamente em alta rotação (285 rpm) durante 1 minuto.

A determinação do índice de consistência determina a consistência da mistura de argamassa preparada, onde o diâmetro após a deformação deve estar dentro do intervalo de 205 a 215 mm, ou seja, consistência normal. Foi realizada uma determinação para cada concentração das misturas seguindo a ABNT NBR 7215 (ABNT, 2019). Após a mistura pronta, colocou-se a argamassa em três camadas sucessivas dentro do molde tronco-cônico, este já centralizado sobre a mesa para índice de consistência (Figura 2a). Em cada uma das camadas aplicaram-se, respectivamente, 15, 10 e 5 golpes com o soquete, para distribuí-las uniformemente. Com o molde retirado (Figura 2b) e a mesa com acionamento elétrico efetuou 30 golpes e, após a última queda da mesa, foi medido com o paquímetro o espalhamento de argamassa em três diâmetros tomados ao longo do perímetro (Figura 2c), obtendo-se então o índice de consistência da argamassa corresponde à média das três medidas de diâmetro.

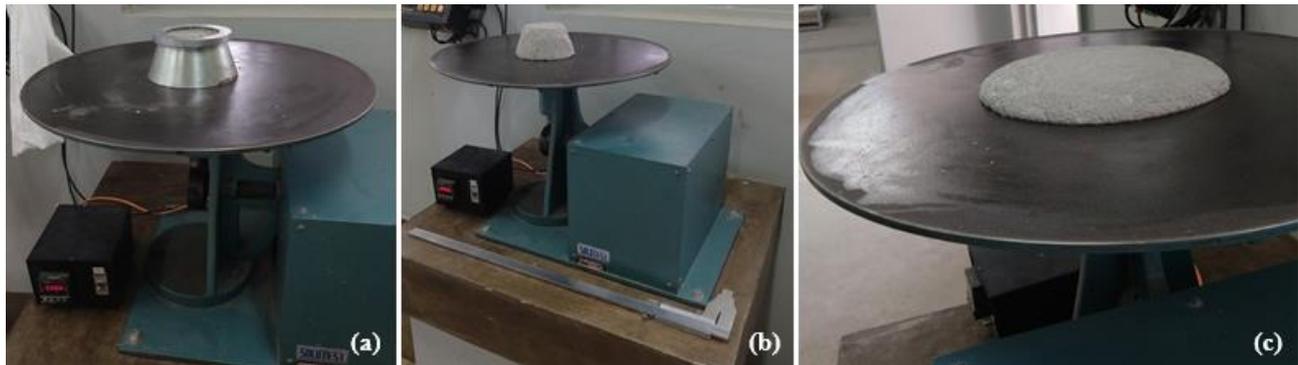


Figura 2: Determinação do índice de consistência. (a) Mesa e molde cônico, (b) Mesa com a argamassa sem o molde, (c) Argamassa após os golpes. Fonte: Autora do Trabalho.

As quatro misturas apresentaram o diâmetro de deformação entre o intervalo requerido, ou seja, todas com um bom índice de consistência, possibilitando realizar o próximo passo que é a moldagem dos corpos-de-prova. A montagem dos corpos de prova foi feita de acordo com a ABNT NBR 7215 (ABNT, 2019). O molde é composto de forma cilíndrica e base rosqueada, ambas de metal não corrosível com diâmetro interno de 50 mm e altura de 100 mm. Foram utilizados 6 corpos-de-prova para cada mistura. A colocação da argamassa no molde foi realizada com o auxílio de uma espátula, em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes com o soquete normal, homogeneamente distribuído e, por fim, emparelhou-se o topo dos corpos-de-prova.

Depois de moldados, os corpos-de-prova foram armazenados durante 48 horas em câmara úmida. Após esse período, os corpos-de-prova foram retirados da câmara e dos moldes para então serem identificados, mensurados com paquímetro seu diâmetro e altura, e colocados imersos em tanque de água (não corrente) saturada de cal da câmara úmida, onde permaneceram até o momento do ensaio. Os corpos-de-prova foram retirados da câmara após 7 dias para serem capeados com a mistura de enxofre a quente, deixando a camada formada em cada extremidade planas e simétricas com espessura máxima de 2 mm (Figura 3).



Figura 3: Corpos-de-prova capeados. Fonte: Autora do Trabalho.

Os corpos-de-prova foram rompidos à compressão nas idades de 8 e 28 dias após a moldagem (Figura 4). Neste caso, três amostras de cada concentração foram retiradas da caixa de água para fazer o primeiro ensaio com 8 dias de idade, e o restante permaneceu submersa até a idade de 28 dias. Para a realização dos ensaios de resistência à compressão, as amostras foram colocadas individualmente em uma máquina universal hidráulica servo controlada Pavitest (Contenco) onde foi programada uma força de 10% da força total da máquina que é de 100 t, ou seja, 10 t de força. Os resultados dos ensaios foram obtidos através do programa próprio da marca Pavitest. O programa fornece os resultados de resistência individual, resistência média e desvio relativo médio. O resultado final, em cada idade, é a resistência média.



Figura 4: Ensaio de compressão. Fonte: Autora do Trabalho.

RESULTADOS

A ABNT NBR 13281 (ABNT, 2005) estabelece requisitos que devem ser obedecidos para argamassas destinadas ao assentamento de paredes ou ao revestimento de paredes e tetos. A norma estabelece classes de argamassa, P1, P2, P3, P4, P5 e P6, com diferentes faixas de resistência a compressão: $\leq 2,0$; 1,5 a 3,0; 2,5 a 4,5; 4,0 a 6,5; 5,5 a 9,0, e; $>8,0$, respectivamente. Para a classificação na sobreposição entre as faixas, deve ser considerado o desvio de cada ensaio e, caso o valor fique no meio de duas faixas, deve-se adotar a maior como classificação.

As Tabelas 2 e 3, apresentam os resultados dos ensaios de compressão dos corpos-de-prova de 8 e 28 dias de idade, respectivamente. Como pode ser analisado, a tensão média de ruptura para 8 dias com 0, 25, 50 e 75% de adição de resíduo de vidro na argamassa foi de 4,36, 3,65, 2,33 e 2,06 MPa, respectivamente. Por outro lado, a tensão média de ruptura para 28 dias com 0, 25, 50 e 75% de adição de resíduo de vidro na argamassa foi de 5,24, 3,83, 4,91 e 6,50 MPa, respectivamente.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de compressão para 8 dias de idade.

Fonte: Autora do Trabalho.

% de Substituição de Resíduo	CP	Carga de Ruptura (kg.f)	Tensão de Ruptura (MPa)	Tensão Média de Ruptura (MPa)	Desvio Relativo Máximo (MPa)
0%	1	900	4,50	4,36	0,03
	2	850	4,25		0,20
	3	870	4,35		0,00
25%	4	690	3,45	3,65	0,05
	5	760	3,80		0,04
	6	740	3,70		0,01
50%	7	560	2,35	2,33	0,00
	8	530	2,65		0,13
	9	400	2,00		0,14
75%	10	430	2,15	2,06	0,04
	11	370	1,85		0,10
	12	440	2,20		0,06



Tabela 3. Resultados dos ensaios de compressão para 28 dias de idade.

Fonte: Autora do Trabalho.

% de Substituição de Resíduo	CP	Carga de Ruptura (kg.f)	Tensão de Ruptura (MPa)	Tensão Média de Ruptura (MPa)	Desvio Relativo Máximo (MPa)
0%	13	1.060	5,29	5,24	0,00
	14	1.050	5,24		0,00
	15	1.040	5,19		0,00
25%	16	830	4,15	3,83	0,08
	17	740	3,05		0,20
	18	880	4,40		0,14
50%	19	1.010	5,09	4,91	0,03
	20	1.010	5,09		0,03
	21	910	4,54		0,07
75%	22	1.180	5,89	6,50	0,09
	23	1.290	6,99		0,07
	24	1.310	6,64		0,02

Analisando os resultados, verifica-se que os corpos de prova de 8 dias sem adição de resíduo de vidro enquadraram-se na classe P4, enquanto que os corpos de prova com 25% de adição enquadraram-se em P3, e com 50 e 75% enquadraram-se em P2. Por outro lado, os corpos de prova de 28 dias sem adição de resíduo de vidro e com 50% de adição enquadraram-se na classe P4, os com 75% em P5, e com 25% em P3. Desta forma, pode-se dizer que todos os resultados estiveram de acordo com os requisitos da ABNT NBR 13281 (ABNT, 2005).

Analisando os resultados da tensão média de ruptura, pode ser observado que, para os corpos de prova de 8 dias, o incremento de resíduos vítreos na argamassa provocou um decréscimo na tensão de ruptura. Por outro lado, nos corpos de prova de 28 dias, o aumento de 25 a 75% da substituição da areia pelo resíduo vítreo resultou em um aumento na tensão de ruptura, sendo maior que os corpos de prova sem adição de resíduo.

Os resultados obtidos satisfazem plenamente as exigências da NBR 13281 (ABNT, 2005). De acordo com esta norma, a argamassa estudada é classificada como sendo do Tipo I, entre 0,1 e 4,0 MPa, e Tipo II, entre 4,0 e 8,0 MPa. Ressaltando que os corpos de prova de 28 dias têm notoriamente os melhores resultados. Dentre os resultados dessa idade podemos observar que a adição de 75% de vidro para 25% de areia resultou na maior resistência. Mesmo todas as concentrações apresentando bons resultados, esse especificamente atendeu positivamente o objetivo do trabalho, mostrando a possibilidade de utilizar essa substituição.

CONCLUSÕES

No trabalho foram estudadas diferentes concentrações de resíduo de vidro de garrafas long neck substituindo a areia na composição de argamassa, para revestimentos que combinassem sustentabilidade e proteção ambiental e que também atendessem as determinações de resistência das normas técnicas. Todos os ensaios apresentaram resultados positivos no atendimento aos requisitos das normas, sendo o melhor com 75% de substituição da areia por resíduo vítreo nos corpos de prova de 28 dias. Como os resultados obtidos atenderam as exigências positivamente, podemos concluir, então, que o aproveitamento do resíduo de vidro é de grande importância, podendo corresponder uma redução significativa das garrafas destinadas à aterros sanitários. Além disso, a reciclagem proposta pode proporcionar a redução da utilização de areia, que é amplamente empregada na construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. ABNT NBR 10.004: **Classificação de resíduos**. São Paulo, SP: ABNT, 2004.
2. ABNT. ABNT NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
3. ABNT. ABNT NBR 7214: **Areia normal para ensaio de cimento - Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
4. ABNT. ABNT NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
5. ABNT. ABNT NBR 9290: **Cal hidrata para argamassas - Determinação de retenção de água - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.



6. ABRELPE – Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021**. Disponível em: < <https://abrelpe.org.br/panorama/>>.
7. Alves, M. S. **Estudo das características e da viabilidade do uso de resíduos gerados no polimento de rochas graníticas como adição em concretos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
8. ANEPAC - Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção. **O mercado de agregados no Brasil: Panorama e perspectivas para o setor de agregados para construção**. 2015. Disponível em: < <https://www.anepac.org.br/agregados/mercado/item/8-mercado-de-agregados-no-brasil> >.
9. Darko, A.; Chan, A. P. C.; Owusu-Manu, D-G.; Ameyaw, E. E. **Drivers for implementing green building technologies: An international survey of experts**. Journal of Cleaner Production, v. 145, p. 386-394, 2017. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617300501>>.
10. John, V. M.; Ângulo, S. C. **Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos**. In: Rocha, J. C.; John, V. M. Utilização de Resíduos na Construção Habitacional. Porto Alegre: ANTAC, 2000. v.4. Disponível em:<<http://www.cbecimat.com.br>>.
11. Koller, D. R. P.; Pilecco, D. S.; Bohrer, D.; Godoy, J.; Fensterseifer, C. A. J.; Barroso, L. B. **Avaliação da resistência à compressão de argamassas produzidas com vidro moído**. Disciplinary Scientia, v. 8, n. 1, p. 17-23, 2016. Disponível em: < <https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1217>>.
12. Oliveira, M. C. R. de.; da Silva, A. L. B.; Pereira, F. F. A.; da Costa, G. L. S.; Marques, S. A. **Argamassa produzida com resíduo de vidro substituindo o agregado miúdo**. In: VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Palmas-TO. 2012. ISBN 978-85-62830-10-5. Disponível em: < <https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/1265/2118>>.
13. Oliveira, P. S.; Antunes, M. L. P.; da Cruz, N. C.; Rangel, E. C.; de Azevedo, A. R. G.; Durrant, S. F. **Use of waste collected from wind turbine blade production as an eco-friendly ingredient in mortars for civil construction**. Journal of Cleaner Production, v. 274, p. 122948, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620329930>>.
14. Ribeiro, C. C. **Materiais de construção civil**. Editora UFMG, 2002.