

ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA POR RESÍDUOS DE VIDRO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

[\[ver artigo online\]](#)

Aluisio Pimentel Campbell ¹

RESUMO

São produzidas toneladas de vidro anualmente. Sendo facilmente encontrados sucatas de vidro decorrentes de resíduos domésticos e comerciais, como refugos de fábricas, vidraçarias, dentre outros. Atualmente as sucatas de vidro apresentam baixo índice de reciclagem e tempo estimado de decomposição de quatro mil anos devido suas resistências mecânicas e química elevadas. Analisando esses dados alarmantes, foi buscada uma alternativa para solucionar o acúmulo e descarte indevido do vidro. Sendo uma alternativa sustentável para redução desse volume de vidros descartados, seria utilizá-los na construção civil, incorporados as misturas à base de cimento, como na produção de concreto. Sendo a utilização destes resíduos moídos de vidro substituindo 25% de areia utilizada como agregado miúdo no traço base na composição do piso intertravado de concreto, uma potencial forma de contribuir para a reutilização desses resíduos prejudiciais ao meio ambiente, podendo melhorar o desempenho dos materiais com a sua adição, além de reduzir o custo e consumo de matéria-prima, como no caso da areia. Visto isto, analisou-se a resistência à compressão e a absorção de água (análises especificadas pela ABNT NBR 9781:2013 para qualificação do piso) comparando resultados do piso com o uso do vidro em relação ao padrão (com quantidade normal da areia).

Palavras-chave: Sustentabilidade, vidro, concreto, piso intertravado.

ANALYSIS OF THE SUBSTITUTION OF SAND BY GLASS WASTE IN CIVIL CONSTRUCTION

ABSTRACT

There are produced approximately one million tons of glass annually in Brazil. The glass components resulting from domestic and commercial wastes are usually bottles, light bulbs, broken glassware, food jars, broken waste from factories and other types of objects. After analysis of these data was sought an alternative to sort the problem of accumulation and glass improper disposal. A sustainable alternative to reduce the volume of glass discarded without reuse, would be the use of them in construction, embedded in cement-based mixtures such as in the production of concrete with crushed glass cullet to replace the sand as the use of glass residuals in the interlocked paver composition of concrete, in replacing of 25% of sand used as fine aggregate in the dash base of concrete, a potential way of contributing to the reuse of this waste, and with the possibility of improving the performance and cost reduction. Since it was analyzed the compressive strength and water absorption (analyzes specified by NBR 9781: 2013 for pavement quality control) comparing the results with the pavement using glass as compared to standard (using the amount of normal sand).

Keywords: Sustainability, glass, concrete.

¹ Engenheiro Mecânico, Centro Universitário Redentor, Rio de Janeiro. aluisio.campbell@gmail.com



INTRODUÇÃO

Nos últimos 30 anos aprenderam-se mais a respeito do vidro e de seu processamento que durante toda a história precedente da tecnologia. Os vidros são hoje utilizados em quase todos os aspectos das atividades humanas; em casa, na ciência, na indústria e até mesmo em arte, pois eles podem ser ajustados às suas finalidades. A tecnologia desenvolvida e aplicada ao vidro permitiu que fossem adquiridas novas vantagens em relação a outros materiais. Seu peso foi sensivelmente reduzido, ao mesmo tempo em que se tornou mais resistente, o vidro que era invariavelmente considerado de pouca resistência mecânica pode hoje ser usado em novas aplicações, não imaginadas poucas décadas atrás e hoje em dia graças às técnicas desenvolvidas como a de têmpera térmica e químicas, são alcançadas altas resistências e outras propriedades importantes para a fabricação de diversos artefatos provenientes do vidro como para-brisas de automóveis, vidros a prova de bala, lentes de óculos, portas e janelas, degraus, copos, embalagens de bebidas, sendo essas últimas exemplos de artefatos de vidro que podem ser reutilizadas ou como artefatos do vidro em geral, serem reciclados.

Por ser um material com massa específica elevada, possuir superfícies cortantes e o pó do mesmo ser nocivo à saúde, possui um alto custo de transporte à origem para a sua reciclagem, uma vez que o transporte por longas distâncias com quantidades de peso elevadas torna-se caro, inviável economicamente em muitos casos e pelo fato do manuseio do mesmo ser trabalhoso, o vidro é descartado incorretamente em terrenos baldios, depósitos de lixo, aterros sanitários, zonas rurais, dentre outros locais.

O descarte de resíduos de maneira incorreta é um problema global, aterros já estão com sua capacidade reduzida e nos próximos anos tem tendência a ficarem cada vez mais sobrecarregados. Levando em consideração todos os materiais depositados na natureza, o vilão dentre eles está o vidro, que leva estimativamente 4 mil anos para se decompor (Fávero, 2009).

O vidro é um material 100% reciclável e largamente utilizado no mundo todo. As propriedades mecânicas incluem elevados valores de resistência à compressão, à tração, à flexão e ao desgaste, possuindo alta resistência química e mecânica. Além disso, mais de 70% de sua matéria é constituído por sílica (SiO₂), o que pode lhe conferir boas propriedades pozolânicas, caracterizando-o como um potencial material constituinte para à base de cimento.

Uma vez que um dos materiais mais utilizados a base do cimento na construção civil em todo o mundo é o concreto, o qual é composto por uma mistura de agregados graúdos e miúdos, aglomerante e água, também podendo conter aditivos quando se tem a necessidade de obter propriedades e características específicas.

Tal material mostra-se como um potencial alternativo na aplicação de resíduos de vidro, pelas características expostas anteriormente e por ser fabricado em grandes escalas, possuindo grande aplicação em nosso país.

Se apresentando como alternativa promissora para a fabricação de componentes e elementos de construção civil, empregando os resíduos de vidro como agregado, com a finalidade de atender às questões técnicas, econômicas, sociais e ambientais.

Dessa forma ajudando a reduzir e até solucionar o impacto ambiental causado por pelos resíduos de vidro, além de proporcionar a redução do consumo dos recursos naturais, redução da poluição e ainda abaixando o custo de fabricação de produtos compostos por concreto.

Contudo, pode se imaginar diversas possíveis formas do uso do concreto com a incorporação de resíduos de vidro, dentre essas, pode-se destacar os pisos intertravados, os quais são peças pré-moldadas de concreto que possuem a finalidade de servirem como superfície de calçamento ou pavimentação, sendo aplicados em calçadas e ruas, e como não é utilizado em fatores estruturais, apenas com finalidade de calçamento e pavimentação de superfícies, torna-se segura a aplicação e criação de compósitos em sua estrutura.

Partindo da idealização do uso do piso intertravado como forma de aproveitar o vidro descartado pela sociedade, para a realização da análise e teste de viabilidade mecânica da incorporação desses resíduos na produção de artefatos de concreto, foram recolhidos resíduos de vidro em vidraçarias, serralherias e também garrafas de vidro encontradas espalhadas pela cidade, descartadas de maneira incorreta no município de Itaperuna–RJ.

Para a incorporação do vidro no concreto para a produção piso, foi necessária a quebra, trituração do quantitativo de vidro recolhido, para que o esse tivesse as dimensões reduzidas, tornando-se mais próximo ao tamanho dos grãos de areia para que a granulometria do traço fosse mantida mais próxima possível de suas características normais. Sendo necessário o uso de uma peneira, no caso foi utilizado o modelo de “ciranda”, muito comum em obras da construção civil.

Figura 1 – Peneira utilizada, modelo “Ciranda”.



Fonte: Maluzin, 2022.

Após o término da etapa de dimensionamento dos grãos do vidro, é feita a dosagem a partir da proporção da substituição de 25 % da areia do traço base pelo produto do vidro triturado, sendo esse então encaminhado por um sistema de esteiras ao misturador orbital, e então misturado aos outros componentes, dando origem a uma mistura, o concreto úmido, o qual é encaminhado até a máquina onde o concreto é prensado e vibrado, sendo assim compactado, dando origem ao piso intertravado,

sendo o mesmo levado à estufa para a cura. Fabricado o piso com o uso dos resíduos do vidro em sua composição, substituindo em 25% da quantidade de areia do traço base e também fabricando o piso controle com o uso total de areia do traço base, sem a adição de vidro. Após a fabricação e cura de 7 dias dos pisos, foram realizados no laboratório de solos da Faculdade Redentor de Itaperuna os ensaios de resistência à compressão e o de absorção de água pelo piso, conforme a resolução da ABNT NBR 9781:2013 e posteriormente comparados os resultados dos dois pisos produzidos, verificando então a viabilidade da incorporação do uso do vidro como matéria prima em substituição da areia como agregado miúdo.

1. MATERIAS-PRIMAS

Para o programa experimental os materiais utilizados foram o cimento CPVARI, areia natural, pedrisco de basalto (brita N°0) e os resíduos de vidro. A partir destes foram produzidos dois diferentes traços de concreto, sendo o traço normal do concreto utilizado na indústria local e o traço com a utilização dos resíduos do vidro recolhido. Os resíduos de vidro utilizados no experimento foram provenientes do material recolhido em vidraçarias, serralherias e também de garrafas de vidro encontradas espalhadas pela cidade, descartadas de maneira incorreta no município de Itaperuna-RJ.

Figura 2 - Resíduos de vidro produzidos por vidraçaria.



Fonte: arquivo pessoal.

Figura 3 - vidro sendo recolhido na vidraçaria local.



Fonte: arquivo pessoal.

Sendo escolhidos esses materiais devido a sua abundância e por não ter uma destinação adequada na região. Sendo inicialmente feita, após a coleta, a limpeza das garrafas, com a remoção de rótulos e em seguida iniciada a moagem dos resíduos recolhidos de maneira artesanal, com o uso de uma marreta, adquirindo diferentes tamanhos de grão. Para obtenção de um produto com dimensões condizentes com a areia utilizada no traço base, os cacos dos vidros triturados foram peneirados

mecanicamente, com o uso de uma peneira grossa, sendo aproveitado os resíduos passantes na peneira para que material aproveitado seja equiparável a areia utilizada como agregado miúdo para o concreto. O agregado miúdo foi uma areia média proveniente da região de Campos dos Goytacazes/RJ e como agregado graúdo utilizou-se brita nº 0 de origem basáltica oriunda da região de Muriaé/MG.

Figura 4 - vidro triturado sendo peneirado com o uso da ciranda.



Fonte: arquivo pessoal.

Figura 5 – Resíduos de vidro (Provenientes de vidraçaria e garrafas), sendo triturados por marreta.



Fonte: arquivo pessoal.

2. CORPOS DE PROVA

O formato dos blocos intertravados fabricados foram os segmentados, com relação comprimento/largura igual a dois, com dezesseis faces, dimensões do modelo disponíveis na Tabela 1, cujas características permitem que os pavimentos, utilizando esses blocos, sejam montados em qualquer posição, além de oferecer melhor intertravamento das peças pelo fato de entrelaçarem entre si nos quatro lados (Figura 7).

Tabela 1 - Dimensões dos blocos intertravados analisados.

Largura	Comprimento	Altura	Peças / m ²
110 mm	220 mm	80 mm	39

Fonte: arquivo pessoal.

Figura 6 - Bloco intertravado de concreto segmentado (TIPO I), com 16 faces.



Fonte: Groove, 2022.

Para a determinação dos traços do concreto com os resíduos de vidro, primeiro foi estabelecido o traço de referência. Ficou definido como traço de referência o mesmo praticado pela fábrica que cedeu o uso de suas instalações e mão de obra para a realização deste trabalho, onde o traço escolhido é o mesmo utilizado pela empresa na confecção e comercialização de suas peças produzidas. Esta opção foi feita, tendo como base que o equipamento de moldagem influencia nas características de qualidade dos blocos intertravados, e, segundo informações tiradas na fábrica, o traço utilizado foi elaborado com fins específicos para o equipamento e agregados utilizados pela mesma.

Diante disso, foi preparado traço de concreto com adição de resíduos do vidro e um sem adição de resíduos – traço de referência. O processo de fabricação dos blocos intertravados seguiu a mesma metodologia da linha de produção utilizada pela fábrica, neste estudo.

Os traços para a produção do concreto com resíduos de vidro foram determinados a partir do traço do concreto de referência, levando-se em consideração

a proporção de 25% de substituição em volume de agregado miúdo (areia no caso), pelo produto de vidro moído, selecionado pela peneiração. A fabricação dos blocos intertravadosse realizou em uma máquina vibro-prensa automática hidráulica ilustrada na Figura 9, indicada para a produção em larga escala industrial, com capacidade produtiva de cerca de 500m² / dia de produção.

Figura 7 – Máquina Vibro-prensa hidráulica automática.



Fonte: arquivo pessoal.

3. CURA DOS CORPOS DE PROVA

O método de cura empregado foi à cura úmida, por meio do uso de estufa feita com lona, cobrindo todo o lote, sendo o piso introduzido e coberto assim que liberado pela máquina, e mantido pelo período de sete dias, sendo ao sétimo dia de cura, separadas 12 peças, 6 de cada traço, sendo 3 de cada para a o ensaio de absorção e 3 para compressão.

Figura 8 - Piso recém-fabricado sendo coberto, entrando na estufa.



Fonte: arquivo pessoal.

4. ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Todo o processo do ensaio para determinação da resistência à compressão e absorção de água foi baseado nos métodos descritos na ABNT NBR 9781:2013. Para o ensaio de compressão, foi utilizado uma Prensa Hidráulica da marca SOLOTEST, com capacidade para 100 toneladas força, com indicador eletrônico digital simples e bomba eletrohidráulica, que permite controle manual da velocidade de avanço do pistão.

Tendo ambos os ensaios sido realizados no laboratório de solos da Faculdade Redentor de Itaperuna. O ensaio de resistência a compressão indica a capacidade de carga suportada perpendicularmente a uma peça, sendo ilustrado na Figura 11, onde um bloco intertravado é colocado na prensa e comprimido axialmente.

Figura 9 - Prensa eletrohidráulica digital SOLOTEST (100 tf, 220V - 60Hz) Modelo: 1.501.220.



Fonte: arquivo pessoal.

5. ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

O ensaio de absorção de água (Figura 12), Através do ensaio de absorção de água é representado o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco, expresso em porcentagem. Assim quanto menor a porosidade de uma peça, menor a quantidade de água que ela absorve, conseqüentemente, maiores poderão ser suas resistências mecânicas e suas características técnicas.

Figura 10 - Corpos de prova imersos em água.



Fonte: arquivo pessoal.

Figura 11 - piso recém-retirado do tanque com água.



Fonte: arquivo pessoal.

Figura 12 - Medição de massa em balança digital.



Fonte: arquivo pessoal.

6. RESULTADOS

6.1 RESULTADOS OBTIDOS PELOS TESTES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Os ensaios de resistência à compressão dos pisos intertravados com utilização de resíduos de vidro apresentaram valores individuais mais elevados em comparação aos apresentados pelos pisos intertravados de referência, tendo os pisos de composição padrão apresentado o menor valor individual (29,627 MPa) e os pisos com adição dos resíduos apresentado o mais elevado (41,27 Mpa), esses apresentando a média de 35,284 MPa de resistência a compressão para o lote, sendo a mais elevada, enquanto os pisos de composição padrão apresentaram a média de 33,677 MPa. Ambos os traços usados atingiram e até ultrapassando o valor mínimo de 28 MPa para pisos com 7 dias de cura, correspondendo 80% da resistência desejada, de pelo menos 35 Mpa aos 28 dias de cura, conforme prescrito na NBR 9781 (ABNT, 2013).

Mas devido ao desvio padrão mais elevado apresentado no caso dos pisos de fabricação com resíduos de vidro, estes apresentaram 29,709 MPa de Resistência Estimada para o lote, sendo menor comparando ao valor apresentado pelo piso de fabricação padrão, o qual apresentou 29,948 MPa, mas mesmo assim uma diferença muito pequena, cerca de 0,271 Mpa. Ambos os lotes apresentando Resistência estimada superior de pelo menos 1,709 Mpa acima do mínimo especificado pela norma seguida.

Tabela 2: Resistência a Compressão.

Amostra	Tonela das	Compressão Máxima(Mpa)	MÉDIA (Mpa)	S(Mpa)	fck,est(MPa)
25 % Vidro 1	30,45	31,433	35,284	5,25464	29,709
25% Vidro 2	26,54	33,15			
25% Vidro 3	39,98	41,27			
Amostra	Tonela das	Compressão Máxima(Mpa)	MÉDIA (Mpa)	S(Mpa)	fck,est(MPa)
100% Areia 1	23,72	29,627	33,677	3,51366	29,948
100% Areia 2	34,37	35,479			
100% Areia 3	34,8	35,923			
fck,est = resistência a compressão estimada do lote.				S = desvio padrão	

Fonte: arquivo pessoal.

Gráfico 1 - Resultado dos ensaios de compressão (MPa).



Fonte: arquivo pessoal.

6.2 RESULTADOS OBTIDOS PELO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Através do ensaio de absorção de água, foi possível observar uma maior absorção de água em todas as peças do piso intertravado com vidro em sua composição em relação ao piso produzido a partir do traço normal. Visto que o piso com vidro em sua composição apresentou cerca de 5,114% de absorção média em relação a sua massa, enquanto o piso de traço normal apresentou uma absorção média de 3,504 % em relação a sua massa.

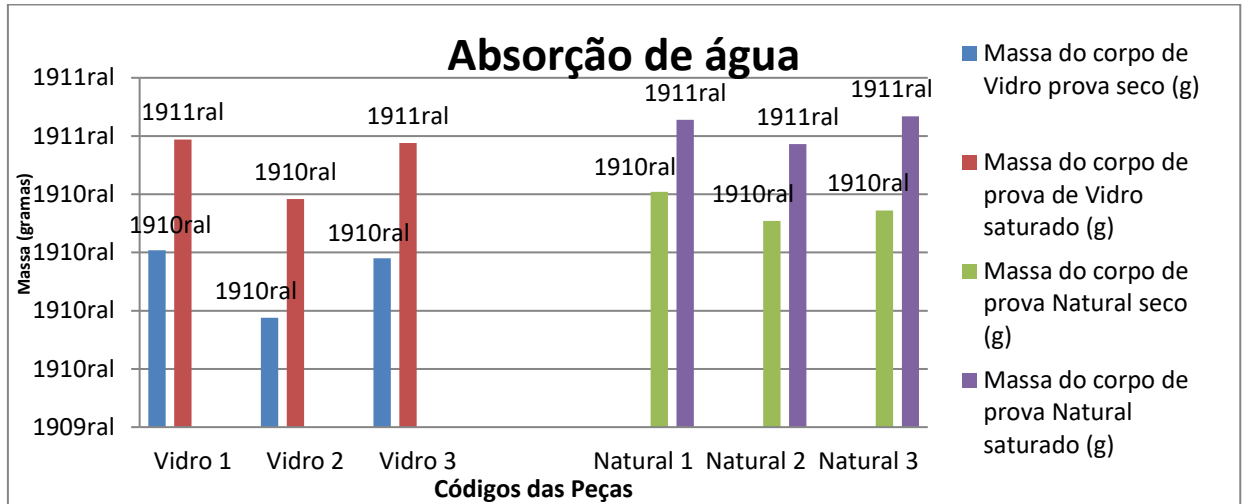
Os pisos de ambos os traços apresentaram resultados satisfatórios, uma vez que ambos foram aprovados, apresentando porcentagem de absorções médias e individuais inferiores ao limite de até 6% de absorção média de água em proporção a sua massa em estado seco, conforme o determinado pela norma ABNT NBR 9781:2013.

Tabela 3 - Absorção de água.

PORCENTAGEM DE ABSORÇÃO DE ÁGUA				
Cód. Da Peça	M 1 (g)	M 2 (g)	A (%)	Absorção Média (%)
V1	3904	4094	4,867	5,114
V2	3890	4088	5,090	
V3	3788	3992	5,385	
N1	4004	4128	3,097	3,505
N2	3954	4086	3,338	
N3	3972	4134	4,079	
A	é a absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);			
M1	é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);			
M 2	é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).			

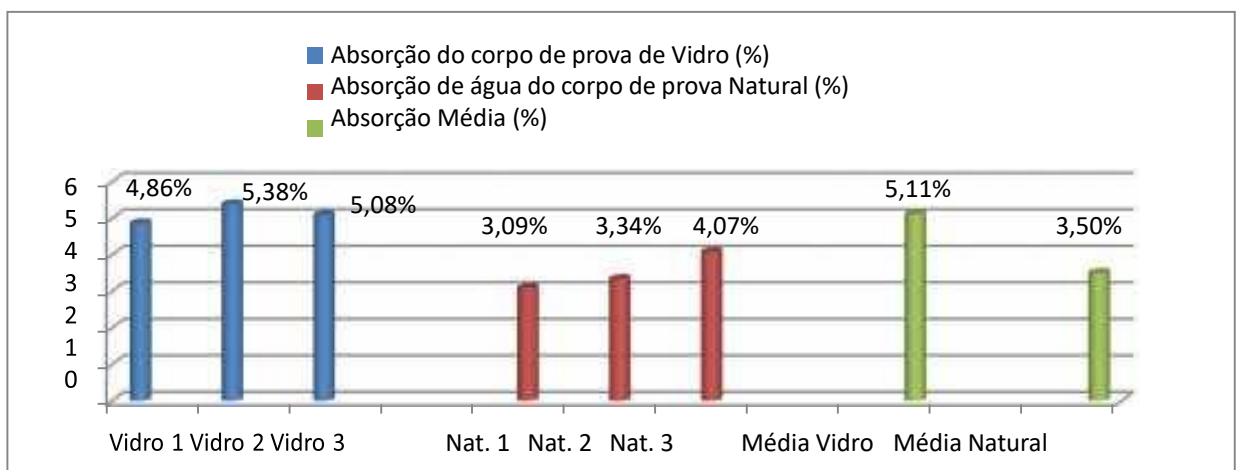
Fonte: arquivo pessoal.

Gráfico 2 - Absorção de água em fator de massa (g).



Fonte: Arquivo pessoal.

Gráfico 3 - Absorção de água em porcentagem (%).



Fonte: arquivo pessoal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o uso de resíduos de vidro na fabricação dos pisos intertravados de concreto, na substituição 25% do volume de areia utilizada no traço base, por esses resíduos, apresenta-se excelentes resultados, mantendo padrões próximos aos do piso intertravado de fabricação normal e até superando-os, como no caso da resistência individual, onde o concreto com utilização de vidro apresentou elevados valores individuais para a resistência a compressão, superando na maioria dos ensaios, os valores apresentados pelo piso de composição normal, mas tendo sua resistência estimada do lote reduzida devido ao desvio padrão apresentado pelas peças ensaiadas. Ambos tendo superado o valor mínimo de 28 MPa, determinado pela norma para peças com 7 dias de cura, tendo, inclusive, todas as peças ensaiadas superado esse valor também ao se analisar apenas os valores individuais da resistência a compressão de cada peça.

Mesmo apresentando uma maior absorção de água em relação ao piso fabricado com traço normal, obteve uma absorção inferior ao limite determinado pela norma, atendendo e superando todas as exigências impostas pela ABNT NBR 9781:2013. Apresentando-se como uma excelente opção para a utilização dos resíduos do vidro do concreto, como forma de reutilizar o material de vidro que seria descartado de forma indevida, assim reduzindo o descarte de vidro na natureza e também o consumo da areia, assim reduzindo o custo da empresa com matéria-prima, pelo fato de ao utilizar os resíduos recolhidos do vidro tem-se apenas os custos com o transporte e a moagem do vidro, mostrando-se como uma potencial forma sustentável de reaproveitar o vidro e ainda assim satisfazer as necessidades dos produtores de piso intertravado, como o caso da indústria local, a qual colaborou para o ensaio, onde o proprietário mostrou interesse na implantação dos resíduos do vidro em sua produção.

REFERÊNCIAS

ABIVIDRO. Disponível em: <http://www.abividro.org.br/>. Acesso em: 03/10/2022

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação– Especificações e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013. <https://www.abntcatalogo.com.br>

DETALHES do Piso Intertravado de Concreto 16 Faces., 27 out. 2022. Disponível em: <https://www.groove.ind.br/produto/piso-intertravado-de-concreto-16-faces/>. Acesso em: 27 out. 2022.

LÓPEZ, D.A.R; AZEVEDO, C. A. P. de and BARBOSA NETO, E. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. Cerâmica [online].2005, vol.51, n.320, pp. 318-324. ISSN 1678-4553.

PENEIRA ciranda., 11 out. 2022. Disponível em: <https://maluzin.com.br/peneira-ciranda-pequena-120x60-sao-jorge-ref-3222>. Acesso em: 11 out. 2022.

SHAO, Y.; LEFORT, T.; MORAES, S.; RODRIGUES, D. Cement and Concrete Research. 30, 2000.

TOPÇU, I. B., CANBAZ, M. Properties of concrete containing waste glass. Cement and Concrete Research. Elmsford, v. 34, n. 1, p. 267-274, 2004.

WERNER, Vogel, Chemistry of Glass 2º edição, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1994