



O uso do vidro em concreto: revisão

Pedro Felix Liotto¹, Genilson Pereira Santana²

Resumo

A reutilização de resíduos sólidos provenientes da construção civil é considerada uma excelente alternativa para o desenvolvimento sustentável. Dentre os resíduos da construção civil está o vidro, um passivo ambiental raramente reciclado na construção civil. Assim a reutilização do vidro como agregado em concreto pode ser uma das formas de tornar o material de construção civil em sustentável. A substituição de agregado miúdo por vidro reciclado é estudada em diversos países como alternativa de redução do volume de resíduos sólidos em aterros sanitários. Esta revisão abrange a produção de concretos nos últimos anos considerando a incorporação de vidro como substituição parcial dos seus elementos constituintes.

Palavras-Chave: Concreto sustentável, vidro reciclado, substituição

Concrete with partial replacement of fine aggregate of recycled glass. Waste reuse is considered an excellent alternative for sustainable development. So the reuse of glass as an aggregate in concrete is one of the ways to make the construction material, which is the most used in the world, sustainable. The replacement of small aggregate by recycled glass is studied in several countries as an alternative for the reduction of glass discarded in landfills and as an outlet to reduce the extraction of natural aggregate. Several researchers around the world are looking for new methods and types of glass for this to be done in order to gain resistance and not impair its durability. This review covers the production of concrete in recent years considering the incorporation of glass as a partial replacement of its constituent elements.

Keywords: sustainable concrete, recycled glass, substitution

¹Mestre em Engenharia Civil Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFAM, Manaus, AM, Brasil, E-mail correspondência: pedro_639@hotmail.com

²Professor Titular ICE, Depto Química, UFAM, Manaus, AM, Brasil, gsantana2005@gmail.com



Introdução

O concreto é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo, sendo fundamental em quase todas as estruturas e em quase todas as etapas de uma obra, seja ela de infraestrutura, edifícios, rodovias etc. (SUN et al, 2018). Essa ampla aplicação ocorre por causas das propriedades do concreto como alta resistência, durabilidade e facilidade de projeto, terem superioridade em relação a outros materiais e baixo custo (YEONG et al, 2018).

A alta demanda de utilização do concreto afeta diretamente as suas matérias primas, como cimento e todos os agregados extraídos diretamente da natureza. Geralmente, em uma mistura de concreto, os agregados naturais representam de 60 a 70% do seu volume, além de possuírem papel significativo nas propriedades mecânicas e durabilidade (LING et al., 2018; AL-KERTTANI, 2018). Em outras palavras, a indústria do concreto tem proporcionado ao planeta um grande impacto ambiental.

Em alguns locais do planeta já é possível observar grande escassez das matérias primas do concreto, o que eleva os custos de produção, dificultando o crescimento econômico da região. No Reino Unido, por exemplo, o consumo de agregado primário é estimado em cerca de 210 milhões de toneladas, sendo que o concreto detém o uso de 43% desse

volume (CAN et al, 2016). Infelizmente, a literatura afirma que a necessidade de concreto aumentará ainda mais para quase 18 bilhões de toneladas por ano até 2050 (YEONG et al, 2018).

Por outro lado, a indústria da construção civil apresenta grandes volumes de materiais de construção e de atividades nos canteiros de obra, o que acaba gerando um elevado índice de resíduos produzidos nas áreas urbanas, depositados de maneira indistinta e desregrada em locais de fácil acesso, com em terrenos baldios. Somente, os Estados Unidos da América, por exemplo, geram cerca de 136 milhões de toneladas de resíduos de construção (RDC) e demolição por ano. Ao contrário do Brasil, existem cerca de 3.500 unidades de reciclagem de RDC nos Estados Unidos. Essas unidades reciclam cerca de 25% do total gerado (Karpinski, L. A., et al, 2016).

Da mesma forma que o concreto, o vidro também é amplamente utilizado em nossas vidas desde os tempos antigos. Como o concreto grandes quantidades de resíduos sólidos de vidros são descartadas. A cada ano, cerca de 10 milhões de toneladas de resíduos de vidro são produzidos em grandes cidades no mundo. Apenas para ilustrar, somente os resíduos de vidro gerados pela utilização de embalagens de produtos alimentícios, recipientes, copos e etc., compõem cerca de 3 a



5% dos resíduos domésticos no mundo (ZIARI et al., 2017).

Por ser inerte, o vidro tem a vantagem de ser ideal para a reciclagem, podendo ser reciclado várias vezes sem que suas propriedades químicas sejam alteradas. Nos EUA, a reciclagem de vidro corresponde a apenas por 2,99 milhões de toneladas de vidro contra uma produção de vidro da ordem de 11,5 milhões de toneladas (RASHIDIAN-DEZFOULI et al., 2018). Já o Brasil produz em média 980.000 toneladas de vidro em forma de embalagens e recicla 47% desse volume (JANSEN et al., 2014). A quantidade de resíduo de vidro reciclado vem aumentando ao longo dos anos, mas a maior parte é descartada em aterros sanitários. A desvantagem do vidro como um material de descarte é que ele não é biodegradável, sendo considerado um passivo ambiental inadequado ao ambiente.

Particularmente, a aplicação de resíduos de vidro como agregados ou suplementos cimentícios na construção civil significa dois benefícios ambientais: i) redução da exploração de grandes quantidades dos recursos naturais; e ii) destinação mais adequada dos resíduos de vidro (YEONG et al., 2018; ZIARI et al., 2017). Apesar desses benefícios a maior parte do mundo, inclusive o Brasil, ainda vem descartando o resíduo de vidro em aterros (JANSEN et al., 2014).

A literatura reporta que o vidro pode ser usado como agregado miúdo em concretos de cimento Portland. De modo geral, diferentes aspectos de utilização de agregados de vidro em misturas de concreto, seja como substitutos finos em cimentos, agregados miúdos ou agregados graúdos vem sendo estudado, principalmente sobre questões como redução da trabalhabilidade e propriedades mecânicas (LIU et al., 2018; RASHIDIAN-DEZFOULI et al., 2018).

A partir desse direcionamento é que se pode fixar os objetivos desta pesquisa. Portanto, a presente revisão tem como objetivo avaliar as propriedades mecânicas e reológicas elementares do concreto, em seu estado fresco e endurecido, contendo a adição de vidro moído como substituição parcial do agregado miúdo que o compõe. É também objetivo desta revisão elencar os materiais utilizados pelas pesquisas, observando quantidades e composições químicas.

Metodologia

As fontes bibliográficas utilizadas nesta revisão foram obtidas das bases de dados Google acadêmico, Periódicos Capes, Science Direct, correspondendo ao período de 2009-2018. Tais fontes foram pesquisadas no dia 21 de agosto de 2018. As palavras-chaves usadas foram: Replacement Of Sand By Glass In Concrete, "Replacement Of Sand By



Glass In Concrete”, Recycled Glass Aggregate, “Recycled Glass Aggregate”, Glass Aggregate In Concrete, “Glass Aggregate In Concrete”,

Milled Glass Recycled Aggregate Concrete, “Milled Glass Recycled Aggregate Concrete”, Glass As Aggregate, “Glass As Aggregate” (Tabela 1).

Tabela 1 - Palavras chaves com o número de trabalhos encontradas das respectivas bases de dados

Palavra-chave	Google Acadêmico	Periódicos Capes	Science Direct
Replacement Of Sand By Glass In Concrete	46400	6069	4887
“Replacement Of Sand By Glass In Concrete”	0	0	0
Recycled Glass Aggregate	74400	7557	18126
“Recycled Glass Aggregate”	22447	1544	3842
Glass Aggregate In Concrete	10400	18680	15770
“Glass Aggregate In Concrete”	4176	4105	5822
Milled Glass Recycled Aggregate Concrete	7680	354	1594
“Milled Glass Recycled Aggregate Concrete”	124	21	44
Glass As Aggregate	3522	1458	2322
“Glass As Aggregate”	652	53	362

O total de referências publicadas referente ao tema de incorporação de vidro em concretos foi de 9.685 trabalhos. Como critério de exclusão utilizou-se frequência de mesmos trabalhos em determinadas bases de dados, publicações em congresso exceto uma, trabalhos em outros idiomas diferentes da língua inglesa, capítulos de livro, teses dissertações e títulos que não correspondiam com o tema deste trabalho.

Como critério de inclusão foi adicionado as seguintes palavras glass, concrete, aggregate e ASR para selecionar artigos específicos da utilização de vidro moído em matrizes cimentícias. Como seleção de trabalhos, foi feita ainda uma separação considerando pesquisas que diversificaram o uso do vidro ou que tenham incorporado ao concreto diferentes formas e diferentes teores. Essa seleção proporciona um melhor entendimento do cenário geral sobre

a incorporação de vidro em concreto por substituição parcial, sendo esta

revisão escrita com os artigos apresentados na Figura 1.

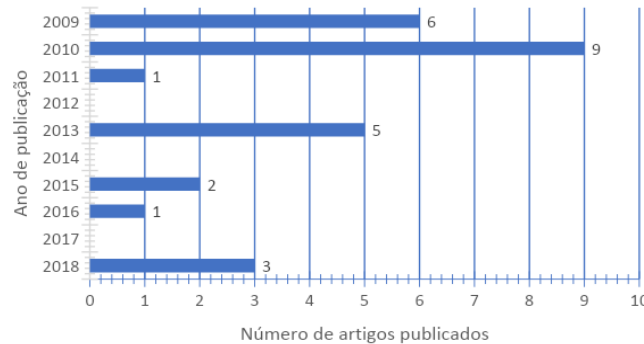


Figura 1 - Distribuição da quantidade de artigos publicados em função dos anos.

Características do resíduo de vidro e do cimento

Como o vidro é um produto da fundição de areia, soda e cálcio a Tabela 2 as composições químicas encontradas nas referências desta revisão. Nota-se que dependendo do tipo de vidro a concentração dos outros componentes variam com destaque

para o SiO₂, principal constituinte da areia. Outro fator decisivo para usar o vidro como agregado na indústria civil é a granulometria que segundo a literatura determinam o seu uso. A Tabela 3 sugere que há uma relação direta na quantidade de vidro sendo usado como agregado no concreto.

Tabela 1 – Composição química dos vidros utilizados

Tipos de Vidro	Óxidos							Ref
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	
Cacos de garrafa	71,91	2,20	0,01	15,60*		9,58*		(AL-KERTTANI, 2018)
Fibra de vidro	47,72	10,36	0,34	19,62	2,27	0,67	0,10	(RASHIDIAN-DEZFOULI et al., 2018)
Cacos de Garrafa	69,60	2,20	0,90	11,60	0,40	12,03	0,40	(AL-ZUBAID et al., 2017)
Vidro Marrom	57,41	1,68	0,86	4,88	2,75	6,38	6,23	(AL-ZUBAID et al., 2017)
Vidro Verde	64,03	1,6	0,52	12,41	3,31	3,22	2,71	(AL-ZUBAID et al., 2017)
Vidro neon	68,22	-	2,87	22,55	-	-	0,06	
Garrafas, Jarras, Janelas	67,72	3,40*		6,90	6,00	-	0,48	(ISMAIL e AL-HASHMI, 2009)
Garrafas, Jarras, Janelas	68,00	7,00	<1,00	11,00	1,00	-	-	(NASSAR, Roz Ud Din e SO-ROUSHIAN, 2012)

*Soma dos dois elementos.



Nota-se que a substituição de agregados por vidro moído mais comumente usada é da ordem de 20%, embora as substituições ótimas sejam mais indicadas é de cerca de 10%. Pode-se observar uma variedade no tipo de vidro utilizado. Outro fator bastante evidente é o fato de que não há uma granulometria ideal para o uso do vidro como agregado grosso e/ou fino.

A Tabela 1.4 mostra que nos artigos usados nesta revisão a existência de três grupos de cimento segundo a quantidade de SiO₂: i) 19%, ii) 21% e iii) 67%. Outra característica observada é que a maioria dos cimentos usadas têm teores de CaO maior que 61%.

Fluidez do concreto versus adição de vidro

A literatura reporta diversos resultados sobre o efeito da adição de vidro sobre a fluidez do concreto. O teste de slump que testa a fluidez do concreto apresenta diversos comportamentos com a adição de diferentes quantidades de vidro. Para AL-ZUBAID (2017), os resultados demonstram uma diminuição do slump à medida que o vidro é adicionado. Segundo esses autores, a redução do valor de Slump pode estar relacionado a granulometria do vidro. NASSAR, Roz Ud Din e SOROUS-HIAN (2012) afirmam que como os grãos de vidro são mais finos que a areia, pode ocorrer o preenchimento

melhor da porosidade dos agregados graúdos. Dessa forma, a literatura mostra que uma adição por $\frac{1}{4}$ pode melhorar a trabalhabilidade do concreto misturado com o vidro (LING et al., 2018). Essa afirmação tem como base a associação superfície lisa, baixa absorção de água e a menor coesão do agregado de vidro com o cimento. A Figura 1.2 mostra a tendência dos valores de Slump em função da quantidade de vidro adicionada em que se observa uma redução da fluidez com o acréscimo de vidro na mistura.

Por outro lado, a trabalhabilidade do concreto pode ser melhorada consideravelmente quando o vidro é misturado como fibra de vidro moída, principalmente se for utilizado vidro cal-soda. Para RASHIDIAN-DEZFOULI (2018) atribuem a melhoria na trababilidade do concreto a textura superficial lisa das partículas ao aumento da absorção de água provocado pela adição de fibra de vidros. O mesmo sucesso não pode ser atribuído à adição de materiais cimentícios suplementares. CAN et al. (2016) observaram a necessidade da adição de maiores teores de aditivo nas misturas contendo o vidro reciclado para melhorar trabalhabilidade do concreto. AL-KERTTANI (2018) demonstraram que o vidro reciclado, mesmo sendo aumentada a área superficial das partículas, apresenta baixa absorção de água, o

que pode ser solucionado pela adição de plastificantes. Novamente, foi constatada a relação da capacidade

de absorção de água com requisito para a obtenção de uma melhor trabalhabilidade do concreto.

Tabela 1.3 - Quadro resumo de dados dos artigos selecionados.

País	Tipo de vidro	% de substituição	Tamanho da partícula	% ótima de substituição	Referência
Malásia	Vidro Plano	25, 50, 75 e 100	Agregado fino: 1 mm	25%	(LING et al., 2018)
Corea	Resíduo industrial	25, 50, 75 e 100	Agregado fino: 5,00 mm	50%	(YEONG et al., 2018)
Turquia	Vidro de garrafas verde	20, 40, 60, 80 e 100	Agregado Grosso: 4 a 11,2 mm; Agregado Fino: 0 a 4 mm	80% e 100%	(AL-KERTTANI, 2018)
Portugal	Não mencionado	25% graúdo e 15% miúdo	20 a 5mm; Agregado miúdo: 20 a 5mm	Não mencionado	(CAN et al., 2016)
USA	Fibra de vidro e Vidro de Garrafa	10, 20 e 30	Pó de fibras de vidro: 4 µm; Pó de vidro de garrafa: 14 µm	Não mencionado	(RASHIDIAN-DEZFOULI et al., 2018)
Iran	Não informado	5, 10 e 15	Agregado Grosso 0,15 a 9,5 mm	10%	(ZIARI et al., 2017)
Brasil	Vidro Plano Temperado	5, 10 e 20	Agregado miúdo: 300 µm a 4,75mm; Pó de vidro: 600 µm a 300 µm	Não mencionado	(JANSEN et al., 2014)
Iraque	Garrafas, jarros e janelas planas	10, 15 e 20	Agregado fino: 0,15 a 4,75 mm	20%	(ISMAIL e AL-HASHMI, 2009)
Iraque	Garrafas marrom e verde, e neon	11, 13 e 15	Marrom: 25-90 µm; verde: 18-80 µm; neon: 25-90	13% de neon	(AL-ZUBAID et al., 2017)
Corea	Tubo de raio catódico	50 e 100%	Agregado fino: 5,00 mm	Não mencionado	(SUN et al., 2018)
China	Tubo de raio catódico	30, 60 e 100	Módulo finura: 2,13	Não mencionado	(LIU et al., 2018)
Japão	Garrafas de bebidas	100	Módulo de finura: 3,44	Não mencionado	(YANG et al., 2018)

Tabela 4 – Composição do Cimento Portland

Fonte	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
(NASSAR, Roz Ud Din e SOROUSHIAN, 2012)	68,00	7,00	<1,00	11,00	1,00	12,00	<1,00	-
(EMAM e AL-TER-SAWY, 2012)	67,72	3,40	6,90	6,00	10,75	0,17	-	-
(LIU et al., 2018)	21,82	6,12	3,92	61,88	1,92	-	-	1,36
(SUN et al., 2018)	21,36	5,03	3,31	63,18	2,89	-	-	2,30
(AL-ZUBAID et al., 2017)	21,93	4,98	3,10	66,11	2,00	-	-	2,25
(ISMAIL e AL-HASHMI, 2009)	21,14	5,78	3,59	64,43	1,52	-	-	2,35
(AL-KERTTANI, 2018)	19,79	3,85	4,15	63,84	3,22	-	-	-
(RASHIDIAN-DEZFOULI et al., 2018)	19,93	4,77	3,13	62,27	2,71	0,06	0,48	-
(YANG et al., 2018)	19,61	7,33	3,32	63,15	2,54	0,13	0,39	2,13
(CAN et al., 2016)	19,77	4,90	2,33	62,56	2,64	0,17	0,66	3,08

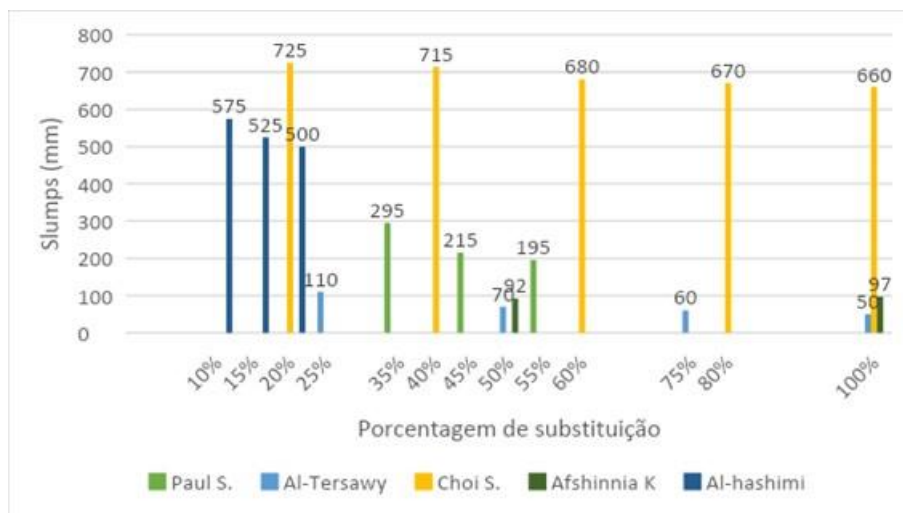


Figura 2 - Desenvolvimento dos testes de consistências.

Um aspecto importante a ser considerado é a densidade do vidro a ser reciclado, pois conforme é aumentado o teor de vidro, aumenta-se a queda no abatimento independentemente do fator água/cimento. A alta densidade pode aumentar a plasticidade, e as propriedades físicas dos resíduos de vidro usados

como agregados finos, incluindo superfície lisa e a baixa absorção de água, também podem ter afetado a queda do concreto (SUN et al., 2018). Para NASSAR, Roz-Ud-Din e SOROUSHIAN (2012) a densidade do concreto é ligeiramente diminuída com a adição de agregados de vidro reciclado devido ao menor peso específico quando comparado ao peso



específico do cimento. Esses autores também consideram que o aumento ou redução do Slump está relacionado a baixa densidade e absorção de água do vidro moído finamente, bem como maior teor de incorporação de ar no concreto. Outro fator preponderante na fluidez do concreto é a viscosidade do Slump. Por exemplo, os autores EMAM e AL-TERSAWY (2012) observam que o aumento da viscosidade aumenta a ligação entre a argamassa e agregado graúdo de vidro minimizando o risco de segregação.

Propriedade do concreto endurecido

De modo geral, a incorporação de resíduo de vidro reduz a resistência à compressão quando esta medida é realizada até 28 dias. A literatura argumenta alguns aspectos relacionados às características do agregado de vidro. EMAM e AL-TERSAWY (2012) e SUN et al. (2018) atribuíram a redução a alta lisura do vidro que não proporciona adesão completa entre o agregado e a pasta de cimento. Além disso, a falta de distribuição homogênea do agregado causa a existência da baixa geometria. LING et al. (2018) apontam que a redução causa a formação de uma ligação fraca entre a superfície do vidro lisa e a pasta de cimento na zona de transição, bem como o enfraquecimento provoca microfissuração gerada no processo de moagem para reduzir os tamanhos dos grãos

vidro. EMAM e AL-TERSAWY (2012) afirmam que essas características do vidro usado na incorporação também diminui a elasticidade.

A Figura 3 mostra os resultados do estudo de AL-ZUBAID et al. (2017) cujo principal resultado é que a resistência mecânica do concreto depende da coloração do vidro utilizada. Percebe-se que para uma mistura entre 11% de adição de vidro obtém-se uma boa resistência mecânica, com destaque para o vidro de néon cujo resultado foi muito próximo do controle.

É interessante citar que um aumento da quantidade de carbonato de cálcio; ou seja, um aumento do valor de pH, melhora a resistência mecânica do concreto tendo agregado de vidro da ordem de 13% (AL-ZUBAID et al., 2017). O aumento da resistência também é observado para medidas de resistências mecânicas para concretos acima de 28 dias. Segundo ISMAIL e AL-HASHMI (2009) a partir dessa idade ocorre no concreto a reação pozolânica que ajuda a melhorar a resistência mecânica. O efeito pozolânico também foi observado por NASSAR, Roz Ud Din e SO-ROUSHIAN (2012). Esses autores sustentam que o efeito pozolânico atua no vidro moído para forma uma microestrutura mais densa responsável pelo aumento da resistência mecânica. Os autores EMAM e AL-TERSAWY (2012), LING et al. (2018) e

ISMAIL e AL-HASHMI (2009) também atribuem o aumento da resistência à tração no concreto com mais de 28 dias ao efeito pozolânico. A resistência à tração também depende da coloração do vidro. Dessa vez, o vidro verde tem maior resistência à tração, segundo AL-ZUBAID et al. (2017).

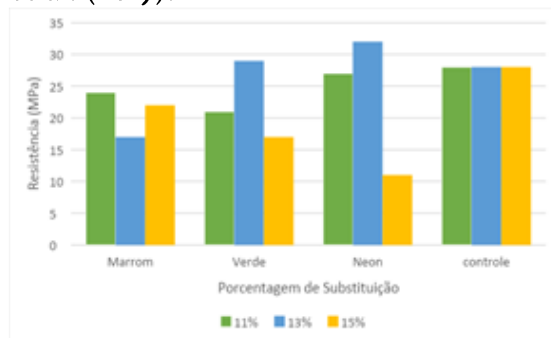


Figura 3 - Resultado das resistências à compressão de diferentes tipos de vidro. Fonte: (AL-ZUBAID et al., 2017)

O efeito pozolânico remetido pelos autores acima é explicado por FUSCO (2008). Para ele as pozolanas são materiais naturais ou artificiais contendo sílica (SiO_2) ativa, isto é, sílica capaz de participar na reação que no cimento é produzida um gel rígido de silicato de cálcio hidratado. Essa ação pode ser descrita em dois momentos: o primeiro, exerce-se uma ação física, semelhante a um agregado bem fino que impede a penetração do gel formado pelos produtos de hidratação do cimento; o segundo, ocorre próximo aos 90 dias, trata-se de uma ação química, com a formação do silicato hidratado que mais uma vez tem o efeito impermeabilizante e atua dentro dos poros do

gel formado inicialmente pela hidratação do cimento.

Em termos de resistência à flexão, EMAM e AL-TERSAWY (2012) também constataram um aumento após 56 dias. Eles atribuíram a melhoria ao efeito pozolânico causado pela adição de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2); ou seja, um aumento do valor de pH. Adicionalmente, LING et al. (2018) apontam que a causa da melhoria é atribuída a misturas de partículas de vidro que contribuem para formar um gel de silicato de cálcio-hidratado.

Considerações finais

Apesar de reduzir os valores de algumas propriedades como resistências e fluidez nos primeiros 14 dias, a literatura mostra que é possível usar o vidro como agregado pois após 56 dias ocorre o efeito pozolânico. Esse efeito reverte os efeitos negativos da adição de agregados de vidro para positivo, sugerindo assim a viabilidade do uso desse passivo ambiental.

Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. O(s) autor(es) e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores



para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

Referências

ABNT. ABNT NBR NM 248:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. [S.l: s.n.], 2003. Disponível em: <www.abnt.org.br>.

ABNT. ABNT NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. [S.l: s.n.], 2007a.

ABNT. Nbr 5739:2007 Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l: s.n.], 2007b

ABNT. NBR 9776:1987 Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro: ABNT, p. 5–7, 1987.

AL-KERTTANI, Osamah Mohammed Ghazi. Fresh and shrinkage properties of self-compacted concrete when using recycled glass as aggregate. n. August 2017, p. 1–10, 2018.

AL-ZUBAID, Aseel B e ALI, Aynoor Ibrahim e SHABEEB, Kadum Muttar. Study The Effect of Recycled Glass Mechanical Properties Concrete of Green Concrete. Energy Procedia, v. 119, p. 680–692, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.095>>.

BIRCHALL, J. D. e HOWARD, A. J. e BAILEY, J. E. On the Hydration of Portland Cement. The Journal of the Society of Chemical Industry, Japan, v. 360, n. 1, p. 445–453, 1978.

CAN, Sevket e LIMBACHIYA, Mukesh e KEW, Hsein. Portland-composite and composite cement concretes made with coarse recycled and recycled glass

sand aggregates: Engineering and durability properties. Construction and Building Materials, v. 128, p. 324–340, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.095>>.

EMAM, Esraa e AL-TERSAWY, Sherif H. Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in self compacting concrete. Construction and Building Materials, v. 35, p. 785–791, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.117>>.

FUSCO, Péricles Brasiliense. Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados. Editora PINI. São Paulo, 2008.

ISMAIL, Zainab Z e AL-HASHMI, Enas A. Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete. Waste Management, v. 29, n. 2, p. 655–659, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.08.012>>.

JANSEN, Edson e colab. Increasing the Compressive Strength of Portland Cement Concrete Using Flat Glass Powder. v. 17, p. 45–50, 2014.

KARPINSKI, L. A., Pandolfo, A., Reineher, R., Guimarães, J. C. B., Pandolfo, L. M., Kurek, J. Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental. Porto Alegre:Edipucrs, 2009, 163p

LING, Philip Chie Hui e YONG, Ee Ling e TAN, Cher Siang. Utilization of glass waste as fine aggregate in construction materials. n. January, p. 36–42, 2018.

LIU, Tiejun e colab. Experimental investigation on the durability performances of concrete using cathode ray tube glass as fine aggregate under chloride ion penetration or sulfate attack. Construction and Building Materials, v. 163,



p. 634–642, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.135>>.

MOHAJERANI, Abbas e colab. Practical recycling applications of crushed waste glass in construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, v. 156, p. 443–467, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.005>>.

NASSAR, Roz-ud-din e SOROUSHIAN, Parviz. Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement. *Construction and Building Materials*, v. 29, p. 368–377, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.061>>.

NASSAR, Roz Ud Din e SOROUSHIAN, Parviz. Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement. *Construction and Building Materials*, v. 29, p. 368–377, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.061>>.

RASHIDIAN-DEZFOULI, Hassan e AFSHINNIA, Kaveh e RAO, Prasada. Efficiency of Ground Glass Fiber as a cementitious material, in mitigation of alkali-silica reaction of glass aggregates in mortars and concrete. *Journal of Building Engineering*, v. 15, n. July 2017, p. 171–180, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.job.2017.11.018>>.

SUN, Il e YEONG, So e IK, Eun. Evaluation of durability of concrete substituted heavyweight waste glass as fine aggregate. *Construction and Building*

Materials, v. 184, p. 269–277, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.221>>.

TOPÇU, İlker Bekir e CANBAZ, Mehmet. Properties of concrete containing waste glass. *Cement and Concrete Research*, v. 34, n. 2, p. 267–274, 1 Feb 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000888460300262X>>. Acesso em: 19 maio 2019.

YANG, Shuqing e CUI, Hongzhi e SUN, Chi. Assessment of in-situ alkali-silica reaction (ASR) development of glass aggregate concrete prepared with dry-mix and conventional wet-mix methods by X-ray computed micro-tomography. *Cement and Concrete Composites*, v. 90, n. April, p. 266–276, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.03.027>>.

YEONG, So e SUK, Yoon e IK, Eun. Characteristics of volume change and heavy metal leaching in mortar specimens recycled heavyweight waste glass as fine aggregate. *Construction and Building Materials*, v. 165, p. 424–433, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.050>>.

ZIARI, Hassan e TEYMOORI, Alireza e MONIRI, Ali. Laboratory investigation of the effect of temperature on frictional properties of concrete pavements containing crushed glass. *International Journal of Pavement Research and Technology*, v. 10, n. 4, p. 297–303, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.04.006>>.