

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE VIDRO EM CONCRETOS E ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND

Raduan Krause Lopes (Universidade Federal de Rondônia) E-mail: raduan.krauser@unir.br
Jayne Carlos Piovesan (Centro Universitário São Lucas) E-mail: jayne.piovesan@saolucas.edu.br
Pedro Ignácio Lima Gadêlha Jardim (Universidade Federal de Rondônia) E-mail: pedro@unir.br
Lidiane Cristina Jucá Gadêlha Jardim (Instituto Federal de Rondônia) E-mail: lidianegadelha28@gmail.com

Resumo: O vidro é um material considerado sustentável, pois pode ser reciclado diversas vezes sem que sejam perdidas suas propriedades. O resíduo de vidro pode ser utilizado em traços de concreto e argamassa de cimento Portland devido apresentar propriedades pozolânicas. O objetivo desse estudo foi realizar uma revisão bibliográfica sobre a aplicação do resíduo de vidro na construção civil. Foram identificados 35 artigos que atendiam os critérios estabelecidos da pesquisa. Com base nos estudos encontrados, foi possível observar que a utilização do resíduo de vidro em concretos e argamassas proporciona melhor trabalhabilidade e na reologia desses compósitos, que também apresentam ganho de resistência e melhora nas propriedades de permeabilidade, favorecendo a durabilidade da estrutura.

Palavras-chave: Resíduo de vidro, sustentabilidade, tecnologia do concreto, tecnologia da argamassa.

ANALYSIS OF THE USE OF GLASS WASTE IN PORTLAND CEMENT CONCRETE AND MORTARS

Abstract: Glass is considered a sustainable material, as it can be recycled several times without losing its properties. The glass residue can be used in traces of concrete and Portland cement mortar due to its pozzolanic properties. The aim of this study was to carry out a bibliographic review on the application of glass waste in civil construction. 35 articles were identified that met the established research criteria. Based on the studies found, it was possible to observe that the use of glass waste in concrete and mortar provides better workability and in the rheology of these composites, which also show resistance gain and improvement in permeability properties, favoring the durability of the structure.

Keywords: Glass residue, sustainability, concrete technology, mortar technology.

1. Introdução

O vidro é um material homogêneo, obtido por um processo de resfriamento de uma massa em fusão que enrijece sem cristalizar pelo aumento contínuo de sua viscosidade. O processo de fabricação consiste inicialmente na extração das matérias primas com as seguintes proporções: 74% de sílica, 14% de sódio, 9% de cálcio, 4% de magnésio, 0,7% de alumina e 0,3% de potássio. Esses materiais são misturados e levados a fornos industriais, que atingem temperaturas na faixa de 1.600 °C. Essa massa em fusão é resfriada de forma gradativa para a confecção das peças desejadas.

Segundo a ABRAVIDRO (2020) foram produzidas cerca de 7.530 toneladas por dia de vidros planos no Brasil no ano de 2019, sendo distribuídos como 55,4% temperado, 25,7% espelho, 11,8% laminado, 6,3% tampos e 0,8% insulados. A indústria de embalagens de vidro no Brasil, produz cerca de 980 mil toneladas de embalagens por ano (CEMPRE, 2020).

O vidro é considerado um material sustentável, podendo ser reciclado inúmeras vezes sem que aja perda de suas propriedades, ou seja, pode ser considerado 100% reciclável. A forma mais comum de sua reciclagem está na própria indústria do vidro, que utiliza os cacos como matéria prima para fabricação de novos vidros. Mas o processo de reciclagem do vidro é complexo, segundo Guo *et al* (2020), sendo o desafio principal para o processo de reciclagem as diferentes composições químicas do vidro, por exemplo, as diversas cores que os cacos de vidro apresentam indicam mudanças na

54 composição química e propriedades adequadas para cada utilização. Assim para o
55 controle de qualidade, os resíduos de vidro devem ser estritamente classificados e
56 limpos antes de serem fundidos novamente.

57 Ainda segundo Guo *et al* (2020), esse processo de triagem envolve muitas etapas e um
58 consumo substancial de energia. Esse processo é responsável pelo baixo índice de
59 reciclagem do vidro pelo mundo, enquanto cerca de 130 milhões de toneladas de vidro
60 foram produzidos em todo mundo no ano de 2018, apenas 21% desse volume foi
61 reciclado (WANG, 2020), e no ano de 2017 estimou-se que apenas 26,7% tenha sido
62 reciclado, segundo a Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos (2020). No
63 Brasil, segundo a CEMPRE (2020), 47% das embalagens de vidro são recicladas.
64 Segundo Letelier *et al* (2020), apesar do vidro poder ser reciclado inúmeras vezes,
65 grandes volumes acabam em aterros sanitários. Heriyanto *et al* (2018) relata que a taxa
66 de reciclagem do vidro varia de país para país, por exemplo na União Europeia
67 apresenta uma taxa de 73%, já outros países ficam bem atrás como os Estados Unidos,
68 com 34% e Cingapura, com 20%. Arulrajah *et al* (2017) relataram que na Austrália
69 cerca de 1 milhão de toneladas de resíduo de vidro são coletados por ano para futuro
70 processo de triagem e reciclagem. Segundo Federico e Chidiac (2009) cerca de 20
71 milhões de toneladas de resíduo de vidro são produzidas anualmente na China, mas
72 apenas 53,5% é reciclado, com o resto depositado em aterros sanitários.

73 Como o processo de reciclagem para a reutilização pela indústria de vidro é inviável
74 economicamente, conforme Tamanna *et al* (2020), a quantidade de contaminantes como
75 tampas plásticas, metais e papéis colados no resíduo de vidro, bem como a variação
76 química dos diferentes tipos de vidro, como também a dificuldade em separação desse
77 resíduo devido sua coloração, são aspectos que dificultam o processo de reciclagem. A
78 alternativa para esse resíduo de vidro (RV) está na fabricação de outros materiais, sendo
79 os compósitos cimentícios promissores para essa utilização. O RV pode ser triturado em
80 partículas variadas, podendo substituir parcialmente o cimento e totalmente os
81 agregados miúdo e graúdo de concreto (LOPES, 2017; BOSTANCI, 2020; JAIN *et al*,
82 2020; TAMANNA *et al*, 2020).

83 O uso do resíduo de vidro na indústria da construção civil é uma das opções atraentes
84 para agregar valor nesse produto, uma vez que o setor da construção pode incorporar
85 grande quantidade de resíduo sem uma qualidade alta do RV (LETELIER *et al*, 2020).
86 Ainda segundo os autores, existem diversas formas de se utilizar o RV em concreto e
87 argamassa, seja substituindo agregados ou cimento. Mas o vidro como agregado não
88 produz compósitos de boa qualidade, devido a reação deletéria álcali-sílica, uma reação
89 química expansiva que ocorre entre os álcalis do cimento e a sílica reativa do vidro. Mas
90 essa reação não é observada quando se utiliza o RV finalmente moído e em substituição
91 parcial do cimento, devido as suas propriedades pozolânicas.

92 Dessa forma, com objetivo de auxiliar as pesquisas experimentais, bem como os
93 profissionais que tenham interesse em utilizar este material em construções, este estudo
94 consiste em uma revisão bibliográfica acerca das propriedades mecânicas e químicas do
95 resíduo de vidro com foco na utilização do material em concretos e argamassas. A
96 análise também sintetiza os estudos realizados quanto sua durabilidade e suas
97 aplicações.

98 2. Materiais e Métodos

99 O presente estudo foi elaborado por meio de uma revisão bibliográfica nas bases de
100 dados *Scielo*, *Google Scholar*, *Scopus* e *ResearchGate*. As palavras-chave utilizadas
101 foram “resíduo de vidro”, “materiais cimentícios”, “sustentabilidade”, “propriedades

102 químicas” e “propriedades mecânicas” com suas correspondentes em inglês “*glass*
 103 *waste*”, “*cementitious materials*”, “*sustainability*”, “*chemical and mechanical*
 104 *properties*”.

105 Foram selecionados os artigos que obedeciam aos seguintes critérios: a) apresentavam
 106 maior quantidade de citações quanto ao tema; b) resultados de propriedades químicas
 107 e/ou mecânicas em materiais cimentícios utilizando o resíduo de vidro; c) utilização de
 108 artigos com menos de 20 anos de publicação, com preferência para estudos mais atuais
 109 sobre o tema, para embasar melhor os resultados.

110 Foi possível obter 60 (sessenta) artigos e, após leitura dos resumos e classificação dos
 111 mesmos, identificou-se que alguns traziam conteúdos similares e outros não
 112 apresentavam dados contundentes ou bem embasados. Dessa forma, foram separados 35
 113 (trinta e cinco) artigos para a realização deste estudo. Vinte e dois artigos foram
 114 publicados há cinco anos ou menos, 6 entre 10 e 5 anos atrás e 7 foram publicados entre
 115 20 e 10 anos atrás. O levantamento bibliográfico permitiu avaliar as características
 116 químicas e físicas, a reatividade, as propriedades mecânicas de concretos e argamassas
 117 com incorporação de resíduo de vidro, bem como dados de sua durabilidade.

118 3. Resultados e discussões

119 3.1. Características químicas

120 Guo *et al* (2020) define que quanto a composição química, o vidro pode ser classificado
 121 de 4 formas: vidro de soda-cal, vidro de chumbo, vidro de boro-silicato e vidro elétrico.
 122 Segundo a *Glass Alliance Europe* (2020) no ano de 2018 foi estimado 36,6 milhões de
 123 toneladas de vidro na Europa, e que as porcentagens de vidro soda-cal, vidro de
 124 chumbo, vidro de boro-silicato e vidro elétrico foram 91,5%, 2,4%, 3,8% e 2,4%,
 125 respectivamente. O vidro soda-cal é o mais utilizado para fabricação de embalagens e
 126 vidros planos para indústria da construção civil e automobilística. Segundo Siddique
 127 (2008), a composição química dos vidros sempre apresenta sílica (SiO₂), carbonato de
 128 sódio (Na₂CO₃) e cal (CaCO₃). A Tabela 1 apresenta os principais compostos químicos
 129 para cada um dos tipos de vidro.

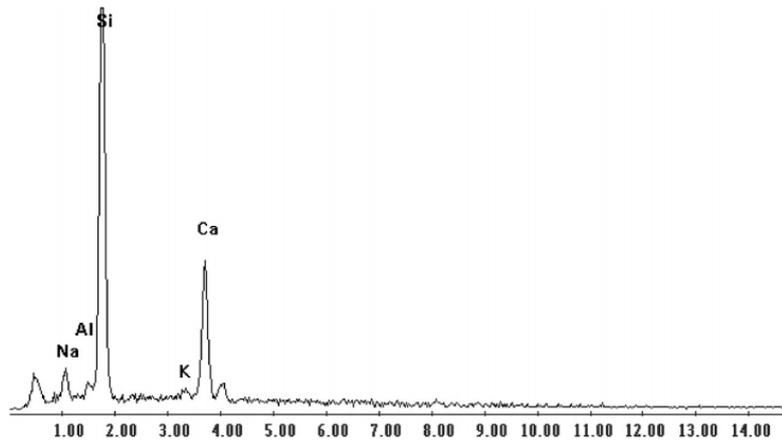
130 Tabela 01: Composição química dos principais tipo de vidro

Composto químico	Soda-cal	Chumbo	Boro-silicato	Elétrico
SiO ₂	71-75	54-65	70-80	52-56
Na ₂ O + K ₂ O	12-16	13-15	4-8	0-2
CaO	10-15	-	-	16-25
Al ₂ O ₃	-	-	7	12-16
B ₂ O ₃	-	-	7-15	0-10
PbO	-	25-30	-	-

131 Fonte: adaptado de Vieitez et al (2011)

132

133 Letelier *et al* (2020) afirma que os ensaios de fluorescência de raio x (FRX), para
 134 análise da composição química, e de espectrometria de energia dispersiva (EED) são
 135 importantes para confirmar a composição química. A Figura 1 apresenta o resultado de
 136 EED do vidro do trabalho de Letelier *et al* (2020).

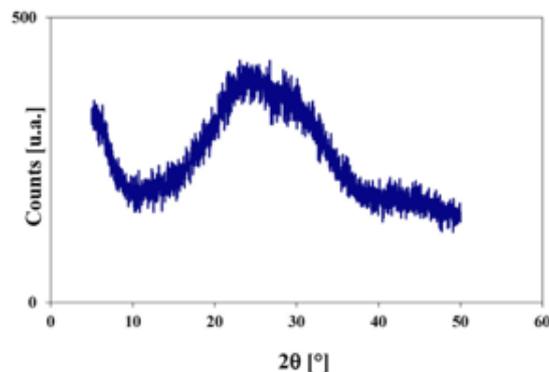


137
138

Figura 1 – EED do pó de vidro. Fonte: Letelier *et al* (2020)

139 Quanto a estrutura molecular do vidro a unidade básica da rede de sílica é um tetraedro
140 silício-oxigênio, mas com uma característica amorfa, diferente por exemplo do quartzo,
141 que também tem a unidade básica da rede um tetraedro silício-oxigênio. Por apresentar
142 alta randomicidade atômica, o vidro não é considerado um sólido, mas sim um líquido
143 com altíssima viscosidade.

144 O amorfismo do vidro é relatado por vários estudos, Letelier *et al* (2020) ao estudar o
145 efeito do resíduo de vidro em argamassas de cimento Portland, evidencia esse aspecto
146 por meio de ensaio de difração de raio-X (DRX), como mostrado na Figura 2.



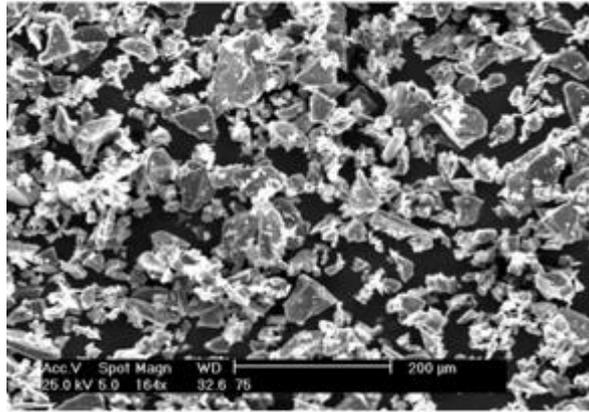
147
148

Figura 2 – DRX do resíduo de vidro. Fonte: Letelier *et al* (2020)

149 O ensaio de DRX é importante para determinar as composições de fases de materiais
150 cristalinos e amorfos. Como pode ser observado do difratograma da Figura 1, não é
151 possível verificar qualquer pico que pode ser atribuído a algo composto cristalino,
152 exceto um amplo halo de difração entre os ângulos 20 e 30° atribuída a fase vítrea,
153 caracterizada por estrutura de materiais amorfos. Tal característica também foi
154 observada em outros trabalhos, como de Kim *et al* (2015) e Lopes (2017).

155 3.2. Características físicas

156 Dentre as características que torna o vidro bastante interessante para a construção civil,
157 pode-se destacar a durabilidade, impermeabilidade, dureza, transparência e por ser um
158 material 100% reciclado e com matéria prima abundante na natureza. Quanto a forma de
159 sua partícula, o resíduo de vidro possui aspecto quebrado e anguloso, esse fator é
160 importante ao explicar o efeito de preenchimento ou a consistência de misturas com
161 vidro, que são aspectos que contribuem para as propriedades de concretos e argamassas
162 (LETELIER *et al*, 2020). A Figura 3, apresenta uma microscopia eletrônica de
163 varredura realizada em uma amostra de RV.

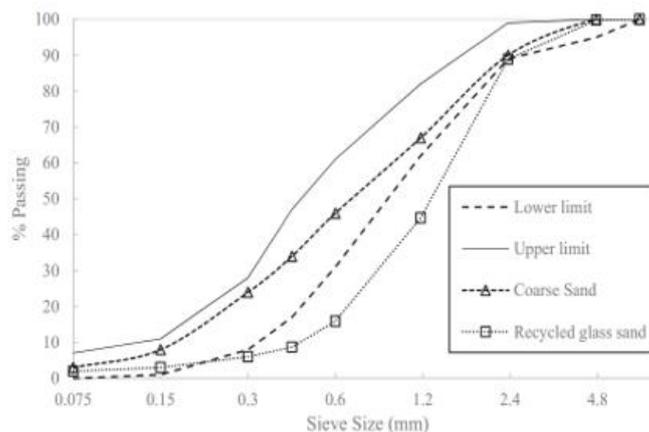


164
165

Figura 3 – Análise de microscopia eletrônica de varredura em pó de vidro. Fonte: Letelier *et al* (2020)

166 A forma lisa e a absorção de água relativamente baixa, são aspectos relevantes para o
167 resíduo de vidro, principalmente quando integrados aos compósitos cimentícios, pois
168 essas características fazem com que as propriedades do estado fresco desses compósitos
169 sejam melhoradas (ZHAO *et al*, 2013).

170 Tamanna *et al* (2020) apresentam a distribuição granulométrica do resíduo de vidro
171 obtido de central recicladora, a Figura 4 traz o resultado dessa distribuição.



172

173 Figura 4 – Distribuição granulométrica entre areia de vidro e areia natural. Fonte: Tamanna *et al* (2020)

174 Observa-se no gráfico de distribuição que a areia grossa utilizada na confecção do
175 concreto apresentou-se dentro da faixa de limite de utilização, mostrando ser melhor
176 distribuída, enquanto a areia de vidro grossa apresentou partículas de tamanhos
177 específicos predominantes, não apresentando assim uma boa distribuição
178 granulométrica. Apesar desse fator desfavorável, o formato angular da partícula de areia
179 de vidro pode ser benéfico para o concreto, uma vez que pode proporcionar uma melhor
180 ligação com a matriz cimentícia (AN *et al*, 2017).

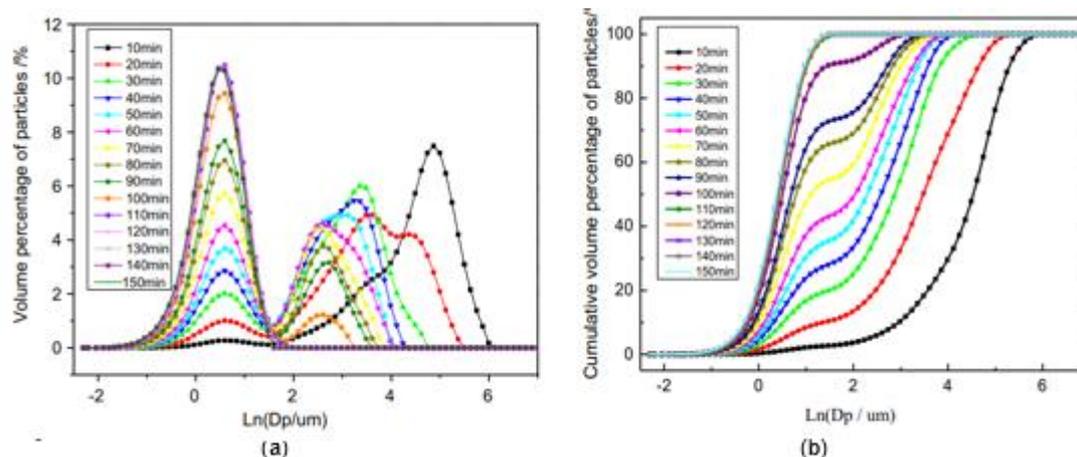
181 Quanto ao formato das partículas, Tamanna *et al* (2020) evidenciou em testes de estado
182 fresco (*Slump test*) que o aumento do percentual de areia de vidro no concreto acarretou
183 na perda de trabalhabilidade da mistura, o traço controle apresentou um abatimento de
184 90 mm, enquanto os traços com 20%, 40% e 60% de areia de vidro em substituição a
185 areia natural apresentaram um abatimento de 60, 65 e 40 mm. Devido à forma da
186 partícula de areia de vidro, com bordas afiadas e textura áspera, são alguns dos fatores
187 para essa perda de trabalhabilidade, segundo os autores.

188 **3.3. Características físicas**

189 Pela natureza amorfa e grande quantidade de sílica, o vidro pode ser considerado um
190 material pozzolânico. Estudos de Ortega *et al* (2018) revelaram que o desenvolvimento
191 das propriedades mecânicas e a microestrutura em argamassa com resíduo de vidro em
192 substituição ao cimento é mais lenta quando comparadas as amostras controle. Tal fato
193 se deve ao atraso nas reações pozzolânicas do RV em comparação a hidratação do
194 clínquer.

195 No trabalho de Shayan e Xu (2004) relataram que a substituição de 30% do cimento por
196 pó de vidro fino, poderiam sofrer reações pozzolânicas benéficas o que propiciou o
197 desenvolvimento de resistências mecânicas satisfatórias em alguns traços de concreto.
198 Ismail *et al* (2009) relataram que as expansões de barras de argamassas foram reduzidas
199 em torno de 66% quando foi utilizado 20% de resíduo de vidro em substituição ao
200 agregado miúdo natural. Tal efeito se deve a propriedade pozzolânica do resíduo de
201 vidro, que ajuda a reduzir o surgimento de reação álcali-sílica, formando C-S-H
202 secundário.

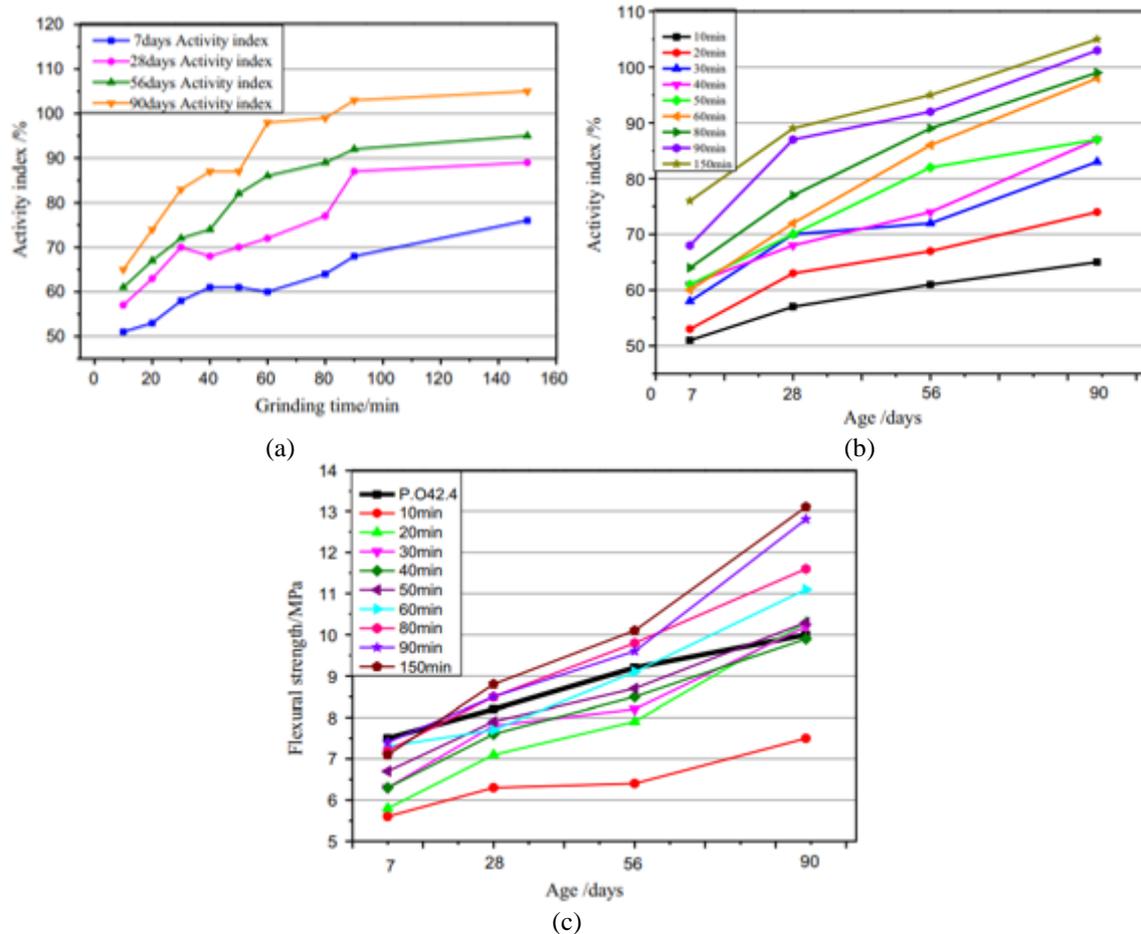
203 Percebe-se que a reatividade do vidro está diretamente ligada ao tamanho de sua
204 partícula, vários trabalhos relatam o aumento de resistência, melhora nas propriedades
205 de durabilidade quando se introduz o pó de vidro fino. Chen *et al* (2020) apresentaram
206 em seus estudo a cinética da cominuição do vidro para mostrar o efeito pozzolânico ao
207 diminuir o tamanho da partícula de vidro. Na Figura 5, é apresentado o PSD (*particle*
208 *size distribution*), ou a distribuição das partículas com tempos diferentes de moagem.



209
210 Figura 5 – Volume do PSD do resíduo de vidro em diferentes tempos de moagem (a) distribuição unitária
211 (b) distribuição acumulada. Fonte: Chen *et al* (2020)

212 Observa-se que nos primeiros tempos de moagem, as curvas apresentadas são bimodais,
213 o que representa a cominuição por fricção, onde se tem partículas maiores ainda bem
214 presentes. Com o passar do tempo de moagem, a curva da direita começa a caminhar
215 para esquerda, assim o tamanho da partícula começa a diminuir gradualmente e o PSD
216 começa a ficar mais concentrado. A partir de 110 min de moagem, já se observa que o
217 PSD se manteve inalterado e o refinamento de dispersão da moagem alcançaram um
218 equilíbrio dinâmico (Chen *et al*, 2020).

219 Com base nos resultados do PSD, Chen *et al* (2020) analisaram o índice de atividade
220 pozzolânica e a resistência à flexão para tempos de moagem 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80,
221 90, e 150 min e em diferentes tempos de envelhecimento. As figuras 6, 7 e 8 apresentam
222 os resultados obtidos.



223 Figura 6 – Atividade pozolânica pelo tempo de moagem (a); Resistência a flexão com tempos de moagem
 224 em períodos distintos (b); Atividade pozolânica em tempos distintos. Fonte: Chen *et al* (2020)

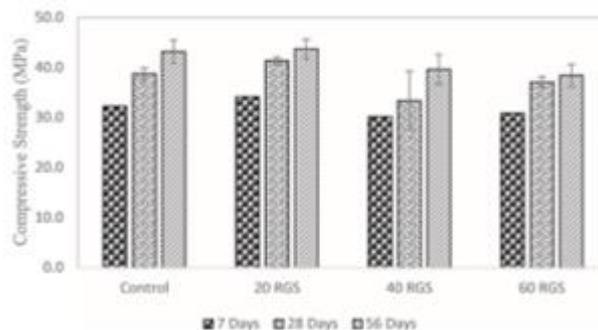
225 Observa-se que nas idades iniciais o pó de vidro tem um efeito fíler, pois com a
 226 diminuição do tamanho da partícula, é possível notar o leve acréscimo de resistência aos
 227 7 dias, além de se notar uma discreta atividade pozolânica na mesma idade. Já a partir
 228 dos 28 dias o efeito pozolânico de fato do resíduo de vidro é evidenciado, e o tamanho
 229 da partícula está diretamente ligado a esse fato, onde os maiores índices de atividade
 230 pozolânica são encontrados nos maiores tempos de moagem em todos os períodos
 231 analisados, bem como o aumento de resistência a flexão está diretamente ligado a esse
 232 fator. Segundo Jiang *et al* (2019), explica essas características da seguinte maneira, o
 233 resíduo de vidro apresenta um papel de preenchimento nas primeiras idades, refletindo
 234 assim atividade física, como o pó de vidro ser estável em uma estrutura molecular em
 235 rede, a atividade pozolânica não é fácil de ser liberada. Já em idades maiores, mais
 236 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ é produzido e o pH da mistura é aumentado, assim o resíduo de vidro é
 237 facilmente ativado no ambiente fortemente alcalino, e o Si-O e Al-O ativos são gerados
 238 nos géis CSH e CASH, levando ao aumento da resistência.

239 3.4. Propriedades mecânicas de concretos e argamassas

240 Ortega *et al* (2018) mostraram que a incorporação de resíduo de vidro em substituição
 241 ao cimento em até 20% em traços de argamassa, não apresentou perda de durabilidade e
 242 ou propriedades mecânicas a médio e longo prazo quando comparadas a amostra
 243 controle.

244 Tamanna *et al* (2020) testaram a resistência a compressão de concreto com substituição
 245 de areia natural por areia de vidro em 20%, 40% e 60%. Foram verificados a resistência

246 aos 7, 28 e 56 dias. Os traços foram propostos para terem uma resistência característica
 247 de 32 MPa aos 28 dias. A Figura 7 apresenta os valores obtidos na resistência à
 248 compressão.

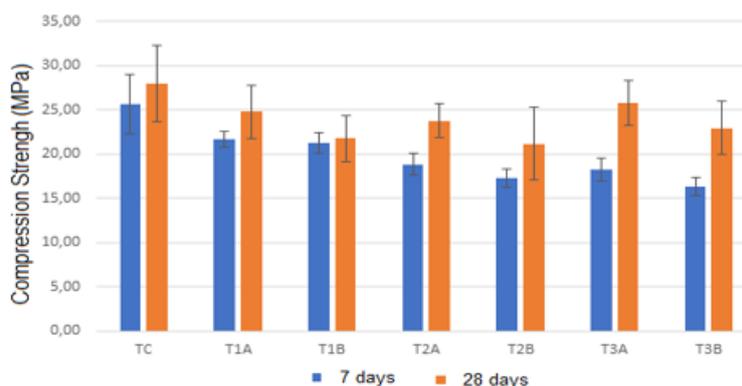


249

250 Figura 7 – Resistência à compressão desenvolvida em concretos com areia de vidro. Fonte: Tamanna *et al*
 251 (2020)

252 Todos os traços obtiveram valores superiores ao valor determinado. Quanto aos
 253 percentuais de substituição o traço com 20% de areia de vidro se apresentou superior a
 254 todos os traços, inclusive o controle, obtendo o valor de 41,4 MPa aos 56 dias. Já o
 255 aumento do percentual de areia de vidro, provocou um decréscimo na resistência.
 256 Segundo os autores, essa característica se deve a natureza angular do vidro, bem como a
 257 ligação entre a matriz cimentícia e a areia de vidro, que é governada pelo
 258 desenvolvimento da zona de transição interfacial.

259 Lopes *et al* (2020) estudou a incorporação de até 20% de resíduo moído de vidro
 260 (RMV) em traços de argamassa, onde verificou a resistência a compressão de corpos
 261 cilíndricos de 5 x 10 cm em idades de 7 e 28 dias. A Figura 8, apresenta os resultados
 262 obtidos na pesquisa.



263

264 Figura 8 – Resistência à compressão de argamassas aos 7 e 28 dias. Fonte: Lopes *et al* (2020)

265 No gráfico de resistência à compressão é possível verificar que o traço controle obteve
 266 os maiores valores de resistência à compressão dos traços, mas o efeito pozolânico do
 267 vidro é evidenciado entre os 7 e 28 dias, principalmente os traços T3 A e B, que
 268 apresentavam 20% de resíduo moído de vidro em substituição ao cimento Portland.
 269 Uma análise estatística foi realizada para complementar os valores, e foram relatados no
 270 trabalho que nenhuma diferença significativa tinha sido observada na resistência entre o
 271 traço controle e os traços com RMV.

272

3.5. Durabilidade de concretos e argamassas

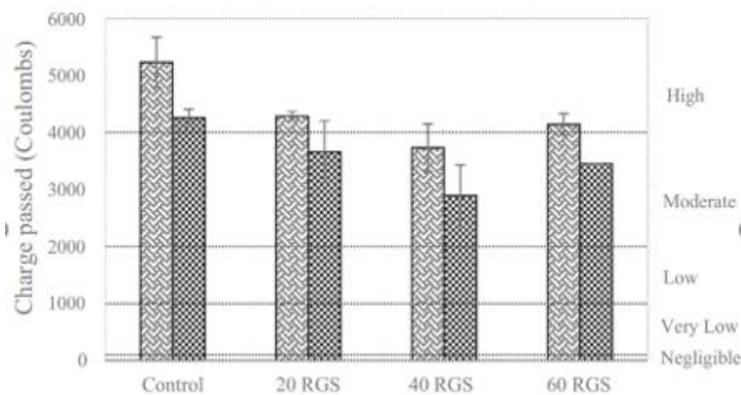
273

Quanto as propriedades relacionadas a durabilidade, a utilização do resíduo de vidro em

274 compósitos cimentícios é evidenciada como benéfica quando tal resíduo é introduzido a
 275 esses materiais com tamanhos inferiores a 50 μm . Segundo Lu *et al* (2017) ao
 276 pesquisarem o efeito de partículas de vidro em argamassas observaram que as partículas
 277 finas do RV oferecem uma maior reatividade pozolânica, reduzem significativamente a
 278 retração por secagem, melhoram a resistência das argamassas contra a exposição a altas
 279 temperaturas bem como a resistências a ataque de ácido sulfúrico.

280 Quanto a mitigação da reação álcali-sílica (RAS), o resíduo moído de vidro em vários
 281 trabalhos da literatura se mostra um mitigador eficiente para essa reação deletéria, onde
 282 vários autores demonstram que a substituição parcial do cimento por resíduo de vidro
 283 fino conseguiu controlar as expansões da RAS (DU E TAN, 2013; LOPES, 2017).

284 A durabilidade do concreto está ligada a resistência a penetração de íons cloretos. Na
 285 pesquisa de Tamanna *et al* (2020) foram verificados a penetração de íons cloreto nos
 286 traços de concreto com substituição de areia natural por areia de vidro, aos 28 e 56 dias.
 287 A Figura 9 apresenta os valores obtidos.

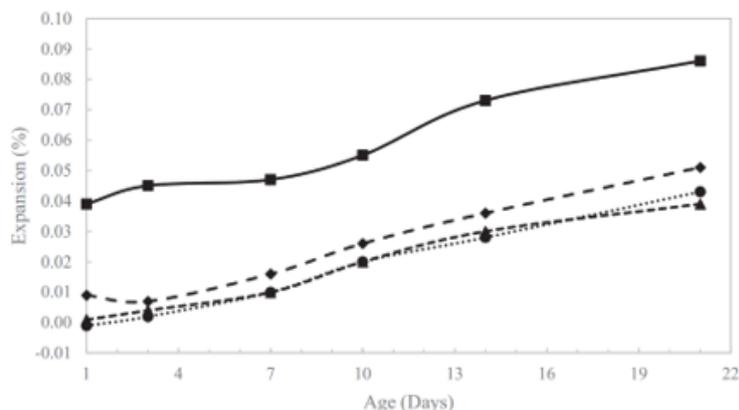


288

289 Figura 9 – Ensaio de penetração de cloretos em cilindros de concreto. Fonte: Tamanna *et al* (2020)

290 É observado que aos 28 dias todos os traços apresentaram taxas significativamente altas
 291 para penetração de cloretos, mas que a incorporação de areia de vidro gerou um
 292 decréscimo considerável, com o aumento do resíduo de vidro. Aos 56 dias, todos os
 293 traços com vidro apresentaram valores considerados moderados, enquanto o traço
 294 controle mostrou-se ainda com valor considerado alto quanto a penetração de íons
 295 cloretos. Com tempos maiores, o resíduo de vidro pode apresentar reações pozolânicas,
 296 o que pode ajudar na porosidade do concreto, por isso a queda nos valores penetração.

297 A reação álcali-sílica (RAS) foi também analisada por Tamanna *et al* (2020) para
 298 verificação da durabilidade do concreto. A Figura 10 apresenta os valores obtidos.

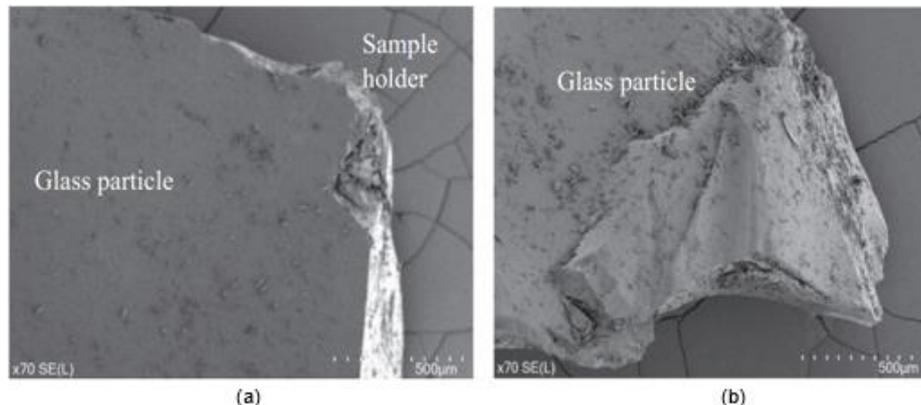


299

300

Figura 10 – Expansão de barras de argamassa por método acelerado. Fonte: Tamanna *et al* (2020)

301 Observa-se que nenhum dos traços se mostrou perigoso quanto a reação álcali-sílica,
302 uma vez que aos 14 dias, não houve expansões superiores a 0,10%, mas é importante
303 notar que a incorporação da areia de vidro mostrou-se um inibidor da RAS, pois os
304 traços com areia de vidro, tiveram expansões com valores menores que o traço controle
305 (quase 50%). Segundo Du e Tan (2014) a fissuração provocada pela RAS são induzidas
306 para as fendas internas das partículas grandes de vidro, e não na zona de transição entre
307 a matriz cimentícia e as partículas de vidro. A Figura 11 apresenta uma MEV da
308 partícula de vidro.



309
310

Figura 11 – MEV de partícula de vidro. Fonte: Tamanna *et al* (2020)

311 Observa-se que nenhuma fissura é encontrada nas partículas de vidro, o que demonstra a
312 redução da RAS. As partículas menores de 4,5 mm sem fissuras na superfície não
313 apresentam íons alcalinos que podem penetrar nas partículas de vidro para formação do
314 gel expansivo da RAS. Outro ponto está ligado ao fato do resíduo de vidro fino se ligar
315 a Portlandita e formar silicato de cálcio secundário (C-S-H). Hou *et al* (2004) relatam
316 que o CSH pozolânico é formado na microestrutura desde que o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ esteja
317 presente para reagir com a sílica dissolvida e assim dificultar a formação de géis de
318 RAS expansivos.

319 Já a utilização do resíduo de vidro como agregado graúdo em concreto não é
320 recomendada, uma vez foram observados em vários trabalhos danos severos devido a
321 reação álcali-sílica (SHAFATIAN *et al*, 2019; CAI *et al*, 2019). Assim, Chen *et al*
322 (2020) relatam que a única opção segura para introdução do resíduo de vidro em
323 concreto para que não aja efeito danoso pela RAS, está na moagem do resíduo de vidro,
324 transformando o mesmo em pó.

325 4. Conclusões

326 É notório que o vidro como material 100% reciclado necessita de uma política ampla de
327 desenvolvimento para sua reciclagem. Apesar de todas as propriedades relevantes para
328 própria indústria do vidro, os percentuais de reciclagem estão abaixo do ideal. Dessa
329 forma a construção civil despontaria como o maior receptor desse resíduo, com amplo
330 campo de utilização.

331 As características de estrutura amorfa do vidro, aliado com a diminuição das partículas
332 desse material na escala inferior a 100 µm tem demonstrado que esse resíduo pode ser
333 caracterizado como um material cimentício suplementar. Tal propriedade se torna
334 benéfica para os concretos e argamassas de algumas formas: a primeira está quanto a
335 melhora das propriedades no estado fresco e endurecido, com melhora da
336 trabalhabilidade e na reologia desse compósitos; a segunda está quanto ao ganho
337 ambiental de duas vias, ou seja, a redução de utilização componentes tradicionais desses

338 compósitos (principalmente o cimento, podendo ser substituído em faixas de até 20%
339 sem perda de propriedades) bem como a redução do descarte inadequado do resíduo de
340 vidro; e a terceira está ligada a melhoria das propriedades do estado endurecido dos
341 compósitos, com ganho de resistência e melhora nas propriedades de permeabilidade, o
342 que gera um ganho de durabilidade nesses materiais.

343 Assim conclui-se que a utilização do resíduo de vidro para emprego em concretos e
344 argamassas é benéfica, com limite de utilização quanto ao tamanho das partículas, tendo
345 que ser menor que 100 μm , e também que deve ser divulgado de forma ampla a
346 importância desse material como promissor material cimentício suplementar.

347 Referências

348 **AN, J.; KIM, S.; NAM, B.; DURHAM, S.** *Effect of Aggregate Mineralogy and Concrete Microstructure*
349 *on Thermal Expansion and Strength Properties of Concrete*. Applied Sciences, [S.L.], v. 7, n. 12, p. 1307,
350 18 dez. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app7121307>.

351 **ARULRAJAH, A.; KUA, T. A.; HORPIBULSUK, S.; MIRZABABAEI, M.;**
352 **CHINKULKIJNIWAT, A.** *Recycled glass as a supplementary filler material in spent coffee grounds*
353 *geopolymers*. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 151, p. 18-27, out. 2017. Elsevier BV.
354 <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.050>.

355 **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES E PROCESSADORES DE VIDRO**
356 **PLANO - ABRAVIDRO.** O mercado vidreiro em números edição 2020. Disponível em:
357 <https://pdf.magtab.com/leitor/136/edicao/20919>. Acesso em: 21 ago. 2020.

358 **BOSTANCI, S. C.** *Use of waste marble dust and recycled glass for sustainable concrete production*.
359 *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 251, p. 119785, abr. 2020. Elsevier BV.
360 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119785>.

361 **CAI, Y.; XUAN, D.; POON, C. S.** *Effects of nano-SiO₂ and glass powder on mitigating alkali-silica*
362 *reaction of cement glass mortars*. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 201, p. 295-302, mar.
363 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.186>.

364 **CHEN, Z.; WANG, Y.; LIAO, S.; HUANG, Y.** *Grinding kinetics of waste glass powder and its*
365 *composite effect as pozzolanic admixture in cement concrete*. Construction And Building Materials,
366 [S.L.], v. 239, p. 117876, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117876>.

367 **COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE.** Vidro, o mercado para
368 reciclagem. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>. Acesso em:
369 22 ago. 2020.

370 **DU, H.; TAN, K. H.** *Effect of particle size on alkali-silica reaction in recycled glass mortars*.
371 *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 66, p. 275-285, set. 2014. Elsevier BV.
372 <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.092>.

373 **UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.** *Facts and figures about*
374 *materials: glass: material-specific data. Glass: material-specific data*. Disponível em:
375 <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/glass-material-specific-data>.
376 Acesso em: 20 ago. 2020.

377 **FEDERICO, L. M.; CHIDIAC, S. E.** *Waste glass as a supplementary cementitious material in concrete*
378 *– Critical review of treatment methods*. Cement And Concrete Composites, [S.L.], v. 31, n. 8, p. 606-610,
379 set. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.02.001>.

380 **GLASS ALLIANCE EUROPE (Bélgica).** *Statistical Report: 2018-2019*. Brussels: Glass Alliance
381 Europe, 2019.

382 **GUO, P.; MENG, W.; NASSIF, H.; GOU, H.; BAO, Y.** *New perspectives on recycling waste glass in*
383 *manufacturing concrete for sustainable civil infrastructure*. Construction And Building Materials, [S.L.],
384 v. 257, p. 119579, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119579>.

385 **HERIYANTO; PAHLEVANI, F.; SAHAJWALLA, V.** *From waste glass to building materials – An*
386 *innovative sustainable solution for waste glass*. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 191, p. 192-206,
387 ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.214>.

- 388 **HOU, X.; STRUBLE, L. J.; KIRKPATRICK, R. J.** *Formation of ASR gel and the roles of C-S-H and*
389 *portlandite.* Cement And Concrete Research, [S.L.], v. 34, n. 9, p. 1683-1696, set. 2004. Elsevier BV.
390 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.03.026>.
- 391 **ISMAL, Z. Z.; AL-HASHMI, E. A.** *Recycling of waste glass as a partial replacement for fine*
392 *aggregate in concrete.* Waste Management, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 655-659, fev. 2009. Elsevier BV.
393 <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.08.012>.
- 394 **JAIN, K. L.; SANCHETI, G.; GUPTA, L. K.** *Durability performance of waste granite and glass*
395 *powder added concrete.* Construction And Building Materials, [S.L.], v. 252, p. 119075, ago. 2020.
396 Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119075>.
- 397 **JIANG, Y.; LING, T. C.; MO, K. H.; SHI, C.** *A critical review of waste glass powder – Multiple roles*
398 *of utilization in cement-based materials and construction products.* Journal Of Environmental
399 Management, [S.L.], v. 242, p. 440-449, jul. 2019. Elsevier BV.
400 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.098>.
- 401 **KIM, J.; YI, C.; ZI, G.** *Waste glass sludge as a partial cement replacement in mortar.* Construction And
402 Building Materials, [S.L.], v. 75, p. 242-246, jan. 2015. Elsevier BV.
403 <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.007>
- 404 **LETELIER, V.; HENRÍQUEZ-JARA, B. I.; MANOSALVA, M.; MORICONI, G.** *Combined use of*
405 *waste concrete and glass as a replacement for mortar raw materials.* Waste Management, [S.L.], v. 94, p.
406 107-119, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.041>.
- 407 **LOPES, R. K.** *Utilização de resíduo moído de vidro industrial na confecção de argamassa de cimento*
408 *Portland em Porto Velho/RO.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do
409 Amazonas. 2017, 107f.
- 410 **LOPES, R. K.; PIOVESAN, J. C.; TUTIKIAN, B. F.; GRONDONA, A. E. B.** *Partial replacement of*
411 *Portland cement with industrial glass waste in mortars.* Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, [S.L.],
412 v. 14, n. 2, p. 1-12, 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952021000200014>.
- 413 **LU, J. X.; J. ZHAN, B.; DUAN, Z. H.; POON, C. S.** *Using glass powder to improve the durability of*
414 *architectural mortar prepared with glass aggregates.* Materials & Design, [S.L.], v. 135, p. 102-111, dez.
415 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2017.09.016>.
- 416 **ORTEGA, J.; LETELIER, V.; SOLAS, C.; MIRÓ, M.; MORICONI, G.; CLIMENT, M.;**
417 **SÁNCHEZ, I.** *Influence of Waste Glass Powder Addition on the Pore Structure and Service Properties*
418 *of Cement Mortars.* Sustainability, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 842, 16 mar. 2018. MDPI AG.
419 <http://dx.doi.org/10.3390/su10030842>.
- 420 **SHAFATIAN, S. M. H.; WRIGHT, J. R.; RAJABIPOUR, F.** *Performance of recycled soda–lime*
421 *glass powder in mitigating alkali–silica reaction.* Green Materials, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 28-39, mar. 2019.
422 Thomas Telford Ltd. <http://dx.doi.org/10.1680/jgrma.18.00032>.
- 423 **SHAYAN, A.; XU, A.** *Value-added utilisation of waste glass in concrete.* Cement And Concrete
424 Research, [S.L.], v. 34, n. 1, p. 81-89, jan. 2004. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0008-8846\(03\)00251-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0008-8846(03)00251-5).
- 426 **TAMANNA, N.; TULADHAR, R.; SIVAKUGAN, N.** *Performance of recycled waste glass sand as*
427 *partial replacement of sand in concrete.* Construction And Building Materials, [S.L.], v. 239, p. 117804,
428 abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117804>.
- 429 **TAN, K. HWEE; DU, H.** *Use of waste glass as sand in mortar: part i. fresh, mechanical and durability*
430 *properties.* Cement And Concrete Composites, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 109-117, jan. 2013. Elsevier BV.
431 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.08.028>.
- 432 **VEITEZ, E. R.; EDER, P.; VILLANUEVA, A.; SAVEYN, H.** *End-of-Waste Criteria for Glass*
433 *Cullet: technical proposals.* Sevilla: Jrc-Ipts, 2011. 124 p.
- 434 **ZHAO, H.; POON, C. S.; LING, T. C.** *Utilizing recycled cathode ray tube funnel glass sand as river*
435 *sand replacement in the high-density concrete.* Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 51, p. 184-190,
436 jul. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.025>