

ANÁLISE DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL RECICLADOS COMO AGREGADO MIÚDO NA PRODUÇÃO DO CONCRETO

⁽¹⁾ Pedro Luiz de Avelar Neto

⁽²⁾ Maria Cláudia Sousa Alvarenga

⁽¹⁾ Estudante do curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba

⁽²⁾ Professora Adjunta do curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba

Presidente da banca: Maria Cláudia Sousa Alvarenga

Membro 1: Simone Rodrigues Campos Ruas

Membro 2: Daniel Santana de Magalhães

04 de dezembro de 2019

RESUMO: A inadequada disposição dos resíduos da construção civil (RCC) e o grande consumo de recursos naturais para a produção de agregados têm motivado a realização de estudos sobre a substituição do insumo natural pelo reciclado. Portanto, no presente artigo foi analisada a influência da utilização de agregado miúdo reciclado nas propriedades do concreto. O material foi obtido pela fragmentação de corpos de prova produzidos no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa *campus* Rio Paranaíba e foi denominado como resíduo de construção civil laboratorial (RCCL). A dosagem foi baseada em outras pesquisas que resultaram em resistências à compressão satisfatórias e também nas dosagens comumente empregadas em canteiros de obras na cidade de Rio Paranaíba e região. Foram realizados os ensaios em concretos com 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de substituição do agregado miúdo natural pelo reciclado, com o traço de 1:2,5:2,5 e as relações água/cimento (*a/c*) de 0,58; 0,60 e 0,65. Após os ensaios de caracterização, verificou-se que o RCCL possui maior quantidade de vazios e material pulverulento que a areia. Além disso, a presença de cimento no insumo proporcionou uma maior absorção de água. As maiores resistências à compressão foram alcançadas pela mistura com 50% de agregado reciclado. Ainda, notou-se que a proporção com 100% de agregado natural alcançou resultados inferiores às demais substituições com o aumento da relação *a/c* e que houve um incremento do índice de vazios e uma diminuição da massa específica dos concretos reciclados.

PALAVRAS-CHAVES: Absorção de água, índice de vazios, massa específica, reciclagem, resíduos de construção civil laboratorial, resistência à compressão.

ANALYSIS OF THE USE OF RECYCLED CIVIL CONSTRUCTION WASTE AS FINE AGGREGATE IN CONCRETE PRODUCTION

ABSTRACT: Improper disposal of civil construction waste (CCW) and high natural resources consumption for the production of aggregate have motivated studies on the replacement of natural by recycled aggregate. Therefore, in this paper was analyzed the influence of recycled fine aggregate from CCW on concrete properties. The material used was obtained by fragmentation of specimens produced in the Civil Engineering laboratory of the Federal University of Viçosa *campus* Rio

37 Paranaíba and was named as laboratory civil construction waste (LCCW). The dosage was based on
38 other researches that resulted in satisfactory compressive strengths and also on the dosages that are
39 mostly used in construction sites in the city of Rio Paranaíba and region. A study was conducted in
40 concrete made with 0%, 25%, 50%, 75% and 100% replacement of natural fine aggregate by recycled
41 aggregate, with concrete recipe of 1: 2,5: 2,5 and water /cement (w/c) ratios of 0,58, 0,60 and 0.65.
42 After the characterization tests it was verified that the LCCW has the greater void content and fine
43 particles than the sand. In addition, the presence of cement in the material provided greater water
44 absorption. The highest compressive strengths were achieved by the concrete made with 50% of
45 recycled aggregate. It has also been noted that the proportion with 100% of natural aggregate achieved
46 lower results than the others percentages with the increase of w/c ratio and there was an increase in
47 voids content and a decrease in density of recycled concrete.

48 **KEYWORDS:** Water absorption, void content, density, recycling, laboratory civil construction
49 waste, compressive strength.

50 1 INTRODUÇÃO

51 A utilização de resíduos da construção civil (RCC) como agregado do concreto é uma
52 alternativa para conter a grande quantidade de recursos naturais consumidos nesse setor econômico.
53 Conforme Leite *et al.* (2018), grande parte dos entulhos gerados nas obras são depositados
54 incorretamente na natureza e ocasionam danos ambientais muitas vezes irreversíveis, além de
55 proporcionarem grandes gastos para os municípios, que precisam providenciar a remoção e limpeza
56 desses resíduos do meio urbano. Por isso, os autores afirmam que a reciclagem ou reuso desses
57 insumos é importante, podendo ainda diminuir o valor final da obra ao reduzir a quantidade de
58 material de construção a serem comprados.

59 Segundo Oliveira *et. al* (2016), a realização de pesquisas relacionadas com a taxa de
60 substituição do agregado reciclado pelo natural na produção do concreto é importante para trazer
61 segurança e confiança aos profissionais da construção civil em empregar esses materiais nas obras.
62 Todavia, os autores ressaltam a necessidade de se conhecer as propriedades dos insumos gerados pelo
63 processo de reciclagem, uma vez que sua composição é heterogênea.

64 De acordo com Tenório *et al.* (2012), os RCC podem interferir e comprometer as características
65 do material gerado. Por isso, os autores destacam a importância da realização de estudos do
66 comportamento dos agregados reciclados na produção do concreto. Gualberto, Azevedo e Pereira
67 (2019) dizem que grande parte desses insumos possuem cimento em sua composição, o que interfere
68 na relação a/c e nas propriedades como absorção de água, índice de vazios, teor de material
69 pulverulento e massa específica.

70 Os laboratórios de pesquisa são grandes produtores de RCC, sobretudo provenientes de corpos
71 de prova de concreto. Esses materiais são descartados periodicamente, muitas vezes de forma

72 incorreta e sem tratamento adequado. Porém, os resíduos de construção civil laboratorial (RCCL)
73 podem apresentar grande potencial de reaproveitamento como agregado dos concretos, tendo em vista
74 suas características (Santos *et al.*, 2016).

75 Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o uso de agregados
76 reciclados de RCCL na fabricação do concreto, analisando os resultados obtidos nos ensaios de
77 caracterização, resistência à compressão, absorção de água dos corpos de prova, índice de vazios e
78 massa específica do material em seu estado endurecido.

79 **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

80 **2.1 Resíduos da construção civil (RCC)**

81 A ABNT NBR 15116:2004 define os RCC como resíduos oriundos de construções, reformas,
82 reparos e demolições e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, normalmente
83 chamados de entulhos de obras, calça ou metralha. A disposição incorreta e/ou ausência de
84 tratamento adequado desses resíduos ocasionam alto impacto ambiental e social, podendo depreciar
85 a qualidade de vida urbana em diversos aspectos, como transporte, enchentes, poluição visual e
86 proliferação de doenças (FAGURY e GRANDE, 2007).

87 Além da grande produção de RCC, as atividades da indústria da construção civil consomem
88 grande quantidade de energia e de recursos naturais da sociedade. A extração desses últimos pode
89 originar problemas ambientais, tais como a modificação dos perfis dos rios, a alteração de paisagens
90 naturais e o desgaste de solos (CABRAL *et al.*, 2009). Ademais, La Serna e Resende (2009) ressaltam
91 a dificuldade na aquisição dos agregados do concreto, que apresentaram um aumento de valor
92 significativo nos últimos anos no Brasil.

93 De acordo com Trombim, Portela e Gonçalves (2016), construtoras de todo o país estudam e
94 desenvolvem metodologias para execução de obras com menor nível de desperdício possível,
95 adotando um sistema de gerenciamento de resíduos. Leite *et al.* (2018) afirmam que os entulhos
96 gerados nas construções e nos seus canteiros devem ser separados e descartados conforme a
97 legislação, sendo necessário correta instrução, treinamentos e utilização de placas de orientação no
98 local. Os autores ainda dizem que o gerenciamento deve ter ação educativa, possibilitando as
99 empresas exercerem suas responsabilidades sem produzir impactos socialmente negativos.

100 A Resolução nº 307 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) define o
101 gerenciamento como um sistema que visa: “reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo
102 planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar
103 as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos.” (CONAMA,
104 2002). Segundo Silva *et al.* (2015), as empresas em sua maioria visam o lucro do empreendimento,
105 não se preocupando com as questões ambientais. Entretanto, um plano de gerenciamento de resíduos

106 eficaz, além de contribuir para o meio ambiente pode proporcionar a diminuição dos custos da obra.

107 **2.2 A reciclagem na construção civil**

108 O processo de reciclagem é indicado como uma das principais alternativas para a correta
109 destinação dos resíduos da construção civil (GUALBERTO, AZEVEDO E PEREIRA, 2019). Fagury
110 e Grande (2007) afirmam que os diferentes produtos resultantes desse processo têm se revelado como
111 boas opções de agregados para a produção de concretos e argamassas. Os autores ainda apontam a
112 reciclagem dos RCC como uma oportunidade de transformar despesas em faturamento ou, de pelo
113 menos, reduzir os gastos com a extração de matérias-primas, contribuindo para preservar recursos
114 naturais limitados.

115 Segundo Ulsen *et al.* (2014), reciclar representa o fechamento do ciclo de produção na
116 construção civil. Os autores ressaltam a importância do desenvolvimento de técnicas para melhorar a
117 qualidade dos agregados provenientes da reciclagem, pois, conforme Angulo (2005), esses são
118 utilizados na sua maior parte em aplicações de menor exigência técnica, como por exemplo sub-bases
119 de pavimentos.

120 Para que o processo de reciclagem dos RCC seja bem-sucedido, é essencial políticas municipais
121 de gestão eficiente, conforme estabelece a legislação estadual e federal (BRITO e PICANÇO, 2016).
122 Os autores mencionam que existem poucos municípios brasileiros que possuem aterros para resíduos
123 da construção ou usinas de reciclagem. De acordo com Tavares e Kazmierczak (2016), essas usinas
124 são essenciais para o aumento da vida útil das jazidas de matéria-prima e possibilidade de produção
125 de materiais de construção com baixo custo. Destaca-se então a necessidade de conciliar o
126 crescimento econômico que a indústria da construção civil representa para economia com o
127 desenvolvimento sustentável (COELHO JR. *et al.*, 2018).

128 **2.3 Agregados reciclados**

129 Os agregados podem ser classificados, de acordo com sua origem: em naturais, quando
130 encontrados em forma particulada na natureza; industrializados, caso sua composição seja obtida por
131 processos industriais e reciclados, se gerados pelo processo de reciclagem dos RCC (BAUER, 2011).
132 Segundo Gualberto, Azevedo e Pereira (2019), esses últimos apresentam composição variada e
133 propriedades distintas, que podem afetar as características do concreto e argamassa.

134 No Brasil, estima-se que argamassa, concreto e cerâmica vermelha representem, juntos, mais
135 de 60% do total de RCC gerados (CABRAL *et al.*, 2009). Materiais como gesso, vidro, plástico ou
136 que contenham matéria orgânica, cloretos e sulfatos também são encontrados, porém o uso deles na
137 produção do concreto não é aconselhado, pois podem ocasionar problemas como fissuras e corrosões
138 (TENÓRIO, 2007).

139 Segundo Pereira, Medeiros e Levy (2012), existem diversas opções para a utilização dos resíduos na
140 produção do concreto, sendo mais viável o uso combinado do agregado reciclado com o agregado
141 natural. Entretanto, Tenório *et al.* (2012) afirmam que essa variabilidade representa um obstáculo na
142 utilização de concretos reciclados, dificultando a sua fabricação.

143 De acordo com Cabral *et al.* (2010), a maior utilização dos agregados reciclados tem sido em
144 camadas de pavimentação, porém nos últimos anos, seu uso na fabricação de concreto tem se
145 expandido. Por isso, Rodrigues e Fucale (2014) ressaltam a importância do estudo da influência
146 desses agregados na qualidade do material gerado. As autoras afirmam que os RCC são heterogêneos
147 e que suas propriedades podem variar de acordo com a região onde são obtidos.

148 **2.4 Propriedades dos agregados reciclados e sua influência no comportamento do concreto**

149 Gualberto, Azevedo e Pereira (2019) afirmam que o conhecimento das propriedades químicas,
150 físicas e mecânicas dos agregados reciclados é imprescindível, visto que estão diretamente
151 relacionadas com as características do concreto. Segundo os autores, as propriedades mais
152 importantes são a granulometria, forma, textura, absorção de água, massa específica, resistência à
153 compressão e à abrasão.

154 Em relação à composição granulométrica, os agregados reciclados, em relação aos naturais,
155 normalmente apresentam maiores teores de finos e de materiais pulverulentos (TENÓRIO, 2007). Os
156 autores dizem que essas propriedades estão diretamente relacionadas ao consumo de água e fissuração
157 do concreto.

158 De acordo com Leite (2001), os agregados produzidos com os RCC apresentam formas mais
159 angulares e lamelares, com textura mais áspera. O autor associa essas propriedades com a diminuição
160 da consistência e da trabalhabilidade do concreto, uma vez que esses agregados requerem maior
161 quantidade de água para produzirem uma mistura adequada.

162 As taxas de absorção apresentadas pelos agregados reciclados são relevantes quando
163 comparadas com os agregados naturais e estão associadas a maior presença de frações de menor
164 granulometria e pela grande quantidade de materiais porosos em sua composição (TENÓRIO, 2007).
165 Segundo Oliveira *et. al* (2016), a elevada taxa de absorção afeta a trabalhabilidade e reflete de forma
166 negativa na resistência e desgaste por abrasão do concreto. Ademais, Tenório (2007) afirma que
167 devido a elevada porosidade, esses agregados possuem menor massa específica em relação aos
168 naturais, o que proporciona um maior consumo de cimento e água.

169 Comparando a resistência à compressão e o desgaste por abrasão nos dois tipos de agregados
170 estudados, nota-se que são menores nos reciclados (LEITE, 2001). De acordo com Cabral (2010), a
171 utilização do agregado produzido de RCC é viável, porém a relação água/cimento deve ser levada em
172 consideração por ser um dos principais fatores que afetam sua resistência. Além disso, quanto maior

173 for essa relação e a quantidade de agregado reciclado utilizado, menor será o módulo de elasticidade
174 do concreto (CARRIJO, 2005).

175 As diferenças das características dos agregados naturais e reciclados também influenciam na
176 retração por secagem dos concretos, sendo maior nos últimos (CABRAL *et al.*, 2010). Os autores
177 dizem que esse fenômeno é inevitável, uma vez que o material estará em um ambiente de umidade
178 abaixo da condição de saturação, que é onde está inserido a grande maioria das estruturas de concreto.
179 Segundo Poon, Kou e Lam (2002), a maior ocorrência nos reciclados está associado com sua alta taxa
180 de absorção de água e seu menor módulo de deformação, sendo esses agregados mais deformáveis
181 em relação aos naturais.

182 Analisando a influência do agregado reciclado sobre o comportamento do concreto, Ulloa-
183 Mayorga *et al.* (2018) concluíram que o uso deste tipo de agregados não é uma limitação para a
184 concretagem. Contudo, Vieira, Dal Moline Lima (2004) afirmam que essa é uma área de pesquisa
185 que precisa ser mais explorada e estudada, pois a utilização deste material irá ser maior quando forem
186 conhecidos de forma mais clara sua durabilidade em comparação com o concreto convencional.

187 **2.5 A produção do concreto reciclado**

188 O concreto pode apresentar comportamentos instáveis em determinadas situações, alterando
189 suas características físicas e químicas em função das propriedades de seus componentes e das
190 respostas destes às limitações do meio ambiente (SOUZA E RIPPER, 1998). De acordo com Ulloa-
191 Mayorga *et al.* (2018) o emprego de aditivos é uma boa opção para o aprimoramento da utilização de
192 agregados reciclados na produção do concreto.

193 Segundo Rodrigues e Fucale (2014), a primeira etapa para a produção do concreto reciclado é
194 a coleta e a preparação dos agregados dos RCC. Os autores afirmam que esses materiais podem ser
195 oriundos de diversas etapas da construção e que na fase preparatória ocorre a separação visual e
196 também a redução do tamanho das partículas.

197 Em seguida, deve-se realizar a caracterização dos materiais, por meio de ensaios laboratoriais
198 (GUALBERTO, AZEVEDO E PEREIRA, 2019). De acordo com Rodrigues e Fucale (2014), para a
199 realização dessa etapa os materiais devem ser homogeneizados e os resultados obtidos precisam estar
200 de acordo com as normas técnicas. Os autores dizem que essa fase é fundamental para obtenção de
201 concretos que atendam as exigências mínimas de resistência.

202 Posteriormente ocorre a dosagem experimental e por fim, a realização dos ensaios laboratoriais
203 no concreto no estado fresco e endurecido (MARTÍNEZ-SOTO E MENDOZA-ESCOBEDO, 2006).
204 Os autores ressaltam a importância da produção de corpos de prova com diferentes porcentagens de
205 agregados reciclados, para obter a quantidade que resulta em concretos mais resistentes. Segundo
206 Rodrigues e Fucale (2014), a utilização de agregados reciclados demanda um controle na dosagem,
207 sendo necessário considerar também propriedades como retração, fluência e permeabilidade.

208 Na Tabela 1 é apresentado os métodos adotados por alguns autores e os resultados obtidos na
 209 produção do concreto reciclado.

210 Tabela 1 – Resultados dos ensaios realizados na produção do concreto reciclado

Autores	Material utilizado	Dosagem	Ensaio realizado no concreto	Resultados do concreto reciclado
Gualberto, Azevedo e Pereira (2019)	Resíduos de obras, constituído por concreto, argamassa e material cerâmico	100% de substituição do agregado graúdo e miúdo natural pelo reciclado	Absorção de água	Valor 7% maior que o concreto referência
			Resistência a compressão	Resistência insatisfatória para o pátio de compostagem
			Estanqueidade de um pátio de compostagem com concreto reciclado	Estanqueidade insatisfatória, com aparecimento de anomalias, fissuração e infiltrações
Ulloa-Mayorga, Uribe-Garcés, Paz-Gómez, Alvarado, Torres e Gasch (2018)	Resíduos de obras, constituído por concreto e material cerâmico	0% e 100% de substituição do agregado graúdo e miúdo natural pelo reciclado.	Massa específica	Valor 8% menor que o concreto referência
			Índice de vazios	Valor 6% maior que o concreto referência
			Resistência a compressão	Valor cerca de 40% menor que o concreto referência
			Permeabilidade	Valor próximo ao concreto referência, com acréscimo de 1%
Tavares e Kazmierczak (2016)	Resíduos de obras, constituído por concreto e fibra de vidro	0%, 50% e 100% de substituição do agregado graúdo e miúdo natural pelo reciclado, em massa	Resistência mecânica	Decréscimo de 46% em relação ao concreto referência. A adição de fibra de vidro aumentou em até duas vezes suas resistências
			Permeabilidade	Valores satisfatórios, porém, cerca de três vezes maiores que o concreto referência
Rodrigues e Fucale (2014)	Resíduos de obras, constituído por cerca de 70% de concreto	0%, 50% e 100% de substituição do agregado miúdo natural pelo reciclado, em massa	Massa específica	Diminuição média de 3% à medida que houve aumento do teor de agregado reciclado
			Consistência pelo abatimento do tronco de cone	Perda de trabalhabilidade
			Absorção de água	Incremento de até 12% para o teor de 50% e de 27% para o teor de 100%
			Resistência à compressão	Valores próximos ao concreto referência. O concreto com teor de 50% de agregado reciclado foi o mais adequado, não ultrapassando 2% de redução
			Módulo de elasticidade	Diminuição de 5% para o teor de 50% e de 15% para o teor de 100%

211 Fonte: Autoria própria

212 Nos estudos apresentadas na Tabela 1 foram produzidos concretos reciclados com resistências
 213 à compressão, aos 28 dias, de até 25 MPa, apesar de possuírem uma maior taxa de absorção de água

214 e índices de vazios. Portanto, esses resultados justificam a utilização de agregados produzidos por
215 RCC na produção de concreto. Com base nisso, foi desenvolvida a presente pesquisa, adotando a
216 metodologia descrita no próximo tópico.

217 **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

218 O presente trabalho consistiu na substituição gradual do agregado miúdo natural pelo reciclado,
219 com o intuito de avaliar a viabilidade da utilização dos agregados produzidos por resíduo de
220 construção civil laboratorial (RCCL) na fabricação do concreto. Os procedimentos realizados foram
221 divididos em cinco etapas principais. Na primeira os materiais utilizados foram separados e
222 preparados para a pesquisa. Já na segunda fase foi feita a caracterização dos agregados miúdos
223 naturais e reciclados, através de ensaios laboratoriais. O próximo passo foi a dosagem e a mistura dos
224 insumos para produção dos concretos, que foram moldados em corpos de prova. Na quarta etapa,
225 realizou-se os ensaios na amostra em seu estado endurecido. Por fim, foi feita uma comparação entre
226 os resultados obtidos pelos agregados naturais e os reciclados.

227 **3.1 Preparação dos materiais**

228 Para a realização dessa pesquisa foi utilizado o Cimento Portland Pozolânico resistente a
229 sulfatos (CP IV-32 RS) e como agregado graúdo artificial a brita 0. O agregado miúdo natural usado
230 foi a areia proveniente da região de Lagoa da Prata e o reciclado foi oriundo de corpos de prova de
231 concretos fabricados no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa *campus*
232 Rio Paranaíba. Esse último foi obtido utilizando o aparelho para ensaio de abrasão “Los Angeles”,
233 que fragmentou as partículas do material. Destaca-se que os agregados utilizados nos ensaios foram
234 preparados conforme a ABNT NBR NM 27:2001.

235 **3.2 Caracterização dos agregados miúdos**

236 De acordo com Ulsen *et al.* (2014), os ensaios de caracterização são utilizados como ferramenta
237 de controle de qualidade dos agregados e avaliação da eficiência dos processos sucedidos. As autoras
238 afirmam que a realização dessa etapa aumenta a confiabilidade na utilização dos RCC na produção
239 do concreto. Nesse estudo, os resultados obtidos pela areia foram empregados como parâmetros para
240 o agregado miúdo reciclado. As normas utilizadas para realização de cada ensaio estão apresentadas
241 na Tabela 2.

242 Tabela 2 – Ensaio de caracterização

Ensaio	Norma utilizada
Caracterização granulométrica	ABNT NBR NM 248:2003
Determinação do teor de material pulverulento	ABNT NBR NM 46: 2003
Absorção de água	ABNT NBR NM 30:2001
Determinação colorimétrica de impurezas orgânicas	ABNT NBR NM 49:2001
Massa específica	ABNT NBR NM 52:2009
Massa unitária e volume de vazios	ABNT NBR NM 45:2006

243 Fonte: Autoria própria

244 Os resultados obtidos no ensaio de granulometria foram representados em curvas
245 granulométricas e verificados conforme os limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211:2005.
246 Consequentemente, definiu-se a dimensão máxima característica e os módulos de finura dos
247 agregados.

248 Na determinação do teor de material pulverulento, as amostras foram lavadas apenas com água,
249 não usando agentes umectantes. No final, foi registrada a porcentagem média de material fino
250 comparando-a com os limites apresentados na ABNT NBR 15116:2004. Essa mesma norma foi
251 empregada para verificar os valores obtidos no ensaio de absorção de água.

252 No experimento de determinação da massa específica, o agregado foi utilizado seco e na
253 condição saturado e superfície seca (SSS). A massa unitária de material no estado solto foi definida
254 pelo método C, descrito na sua respectiva norma. Não foi realizado o ensaio na condição compactada
255 para não modificar a granulometria dos agregados.

256 **3.3 Dosagem do concreto**

257 O traço e as relações a/c utilizados nessa pesquisa foram baseados em estudos prévios que
258 resultaram em resistências à compressão satisfatórias e também nas dosagens comumente
259 empregadas em canteiros de obras na cidade de Rio Paranaíba e região. Conforme a pesquisa
260 realizada por Rodrigues e Fucale (2014), o traço em massa de 1:1,84:1,66 do concreto reciclado,
261 produziu os melhores resultados. Já no experimento realizado por Gualberto, Azevedo e Pereira
262 (2019), as maiores resistências foram obtidas pela relação de 1:1,95:1,94. Em obras realizadas na
263 cidade de Rio Paranaíba a proporção de 1:3:3 é utilizada com frequência. Nesse trabalho optou-se
264 pelo traço, em massa, de 1:2,5:2,5.

265 Na escolha da relação a/c, foram realizadas batidas experimentais, verificando a
266 trabalhabilidade das misturas obtidas. Os teores menores que 0,55 não proporcionaram uma boa
267 aderência dos constituintes do concreto reciclado. Não foi acrescentado nenhum aditivo, pois a
268 pesquisa tem o objetivo de analisar a substituição do RCCL sem a sua influência. Nesse estudo
269 utilizou-se as proporções de 0,58; 0,60 e 0,65.

270 As três relações a/c e o traço escolhido foram realizados em misturas com 0%, 25%, 50%, 75%
271 e 100% de substituição do agregado natural pelo reciclado, produzindo ao final dessa pesquisa 15
272 diferentes tipos de concreto. Essa variedade possibilitou uma melhor compreensão da influência dos
273 RCCL nos resultados dos ensaios executados nesse trabalho.

274 **3.4 Preparo, moldagem e cura dos corpos de prova**

275 Definida a dosagem do concreto, o próximo passo foi o preparo e a moldagem dos corpos de
276 prova. Devido a quantidade de agregado reciclado disponível, a produção do concreto foi realizada
277 na argamassadeira, utilizando a brita 0, como informado no item 3.1. A cada batida realizada,
278 produzia-se aproximadamente nove corpos de prova (CPs).

279 Na moldagem foram utilizadas formas cilíndricas metálicas de 5 cm de diâmetro e 10 cm de
280 altura. Para cada porcentagem de substituição do agregado miúdo reciclado, foram produzidos 27
281 corpos de prova, sendo nove para cada relação a/c, totalizando 135 CPs. Foi adotado o processo de
282 adensamento manual, em quatro camadas, utilizando uma haste de adensamento. Após a moldagem,
283 nas primeiras 24 horas, foi realizada a cura inicial dos moldes e em seguida os CPSs foram
284 desmoldados e armazenados até o momento dos ensaios em solução saturada de hidróxido de cálcio,
285 conforme detalhado na ABNT NBR 5738:2015.

286 3.5 Ensaios no concreto

287 Para a análise das propriedades do concreto produzido, fez-se necessária a realização de
288 experimentos no corpo de prova em seu estado endurecido. A obtenção das resistências à compressão
289 foi realizada seguindo as instruções da ABNT NBR 5739:2018. Utilizou-se uma prensa hidráulica
290 com capacidade de 24000 kgf e para o nivelamento das bases dos corpos de prova no equipamento
291 foram usadas borrachas de neoprene com reforços metálicos. Já as determinações da absorção de
292 água por imersão, índice de vazios e massa específica dos corpos de prova de concreto foram de
293 acordo com as equações e procedimentos apresentados na ABNT NBR 9778:2005.

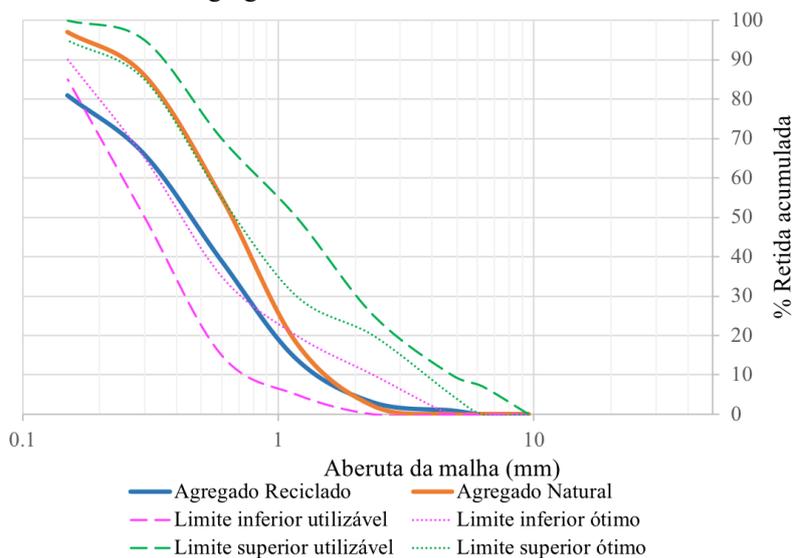
294 Para cada relação a/c, nas cinco porcentagens de substituição utilizadas, foram ensaiadas nove
295 amostras, sendo seis para a determinação da resistência à compressão, nas idades de 7 e 28 dias e três
296 para o ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica. No final, calculou-se a média
297 dos valores obtidos em cada experimento.

298 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

299 4.1 Ensaios de caracterização dos agregados miúdos

300 Os resultados obtidos no ensaio de determinação da composição granulométrica estão
301 representados na Figura 1, onde são apresentadas as curvas dos dois tipos de agregados miúdos
302 utilizados e os limites estabelecidos em norma.

303 Figura 1 – Curva granulométrica dos agregados miúdos natural e reciclado e limites recomendados pela norma



304

Fonte: Autoria Própria

305 De acordo com as curvas granulométricas, verifica-se que o agregado reciclado possui
306 partículas mais finas em relação ao natural, pois sua porcentagem retida acumulada na peneira de
307 0,15 mm é menor. O ponto da curva azul fora da zona utilizável evidencia uma quantidade de grãos
308 finos acima do recomendado, assim como aconteceu na pesquisa de Rodrigues e Fucale (2014).
309 Porém, a norma ressalta que o uso de insumos com distribuições granulométricas fora dos limites
310 estabelecidos é viável, desde que estudos de dosagens comprovem sua aplicabilidade. Nesse ensaio,
311 o agregado miúdo natural apresentou módulo de finura de 3,58 e o reciclado de 3,04 e ambos possuem
312 a dimensão máxima característica de 2,36 mm.

313 No ensaio de determinação do material que passa através da peneira 75 µm por lavagem,
314 percebe-se, assim como no ensaio anterior, maior quantidade de partículas finas nos agregados de
315 RCCL. O teor de material pulverulento nesses insumos foi de 11% e nos naturais de 5%. Os resultados
316 obtidos estão dentro dos limites estabelecidos pelas normas utilizadas nesse experimento, sendo que
317 a porcentagem de finos do agregado reciclado está próxima dos 11,56% encontrados por Gualberto,
318 Azevedo e Pereira (2019) em suas pesquisas.

319 A absorção de água do agregado miúdo reciclado foi superior à do natural, o que pode ser
320 explicado pela presença de cimento nos RCCL. Os valores encontrados foram de 7,2% e 2,1%, ambos
321 aceitos pelas normas técnicas. Na ABNT 15116:2004 o valor máximo de absorção de água para
322 agregados de resíduos de concreto é de 12%.

323 Na determinação colorimétrica de impurezas orgânicas, observou-se que em comparação com
324 a solução padrão, as cores das soluções em contato com os materiais utilizados nesse trabalho foram
325 mais claras, não identificando compostos nocivos em sua composição. Este resultado, no agregado
326 reciclado, pode estar relacionado ao fato do material ser produzido e armazenado em laboratório, não
327 sendo exposto a intempéries e agentes externos, como os resíduos coletados em canteiros de obra.

328 Os valores das massas específicas dos agregados miúdos estão indicados na Tabela 3. Percebe-
329 se que no reciclado os valores são menores que no natural, o que indica um maior número de poros
330 presentes nas partículas sólidas do material composto por RCCL. Os números encontrados estão
331 próximos dos apresentados nas pesquisas de Rodrigues e Fucale (2014) e Gualberto, Azevedo e
332 Pereira (2019), que encontraram para o insumo reciclado os valores de 2,54 g/cm³ e 2,59 g/cm³
333 respectivamente.

334 Tabela 3 – Resultados do ensaio de massa específica

Agregado miúdo	Massa específica aparente do agregado seco (g/cm ³)	Massa específica do agregado SSS (g/cm ³)	Massa específica (g/cm ³)
Natural	2,64	2,68	2,74
Reciclado	2,30	2,49	2,55

335 Fonte: Autoria própria

336 A massa unitária de material no estado solto obtida foi de 1502,97 kg/m³ para o agregado natural
337 e 1224,42 kg/m³ para o reciclado. O valor obtido pelo segundo é cerca de 23% menor que o primeiro,

338 mesma diferença encontrada por Silva *et al.* (2015) em sua pesquisa. Esse resultado indica uma maior
339 quantidade de espaços entre os grãos no insumo que contém RCCL, que foi comprovada no cálculo
340 do índice de vazios: 47% para o material reciclado e 43% para o natural.

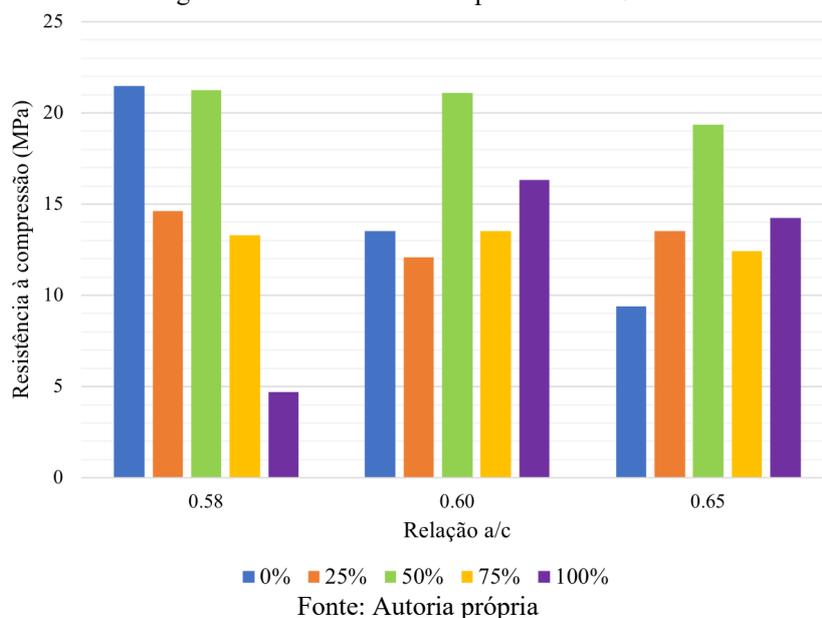
341 Após essa etapa, verificou-se que o uso do resíduo analisado como agregado miúdo do concreto
342 é viável segundo as recomendações das normas, porém o material possui maior quantidade de vazios
343 e alto teor de material pulverulento. Além disso, a presença de cimento no insumo proporcionou uma
344 maior absorção de água, que interferiu na dosagem e nos resultados dos próximos ensaios realizados.

345 4.2 Ensaios no concreto em seu estado endurecido

346 4.2.1 Resistência à compressão

347 Na Figura 2 estão indicados os resultados encontrados para resistência à compressão dos
348 concretos ensaiados (f_{ck}). Como informado no item 3.3, foi utilizado um traço fixo de 1:2,5:2,5.

349 Figura 2 – Resistências à compressão aos 28 dias



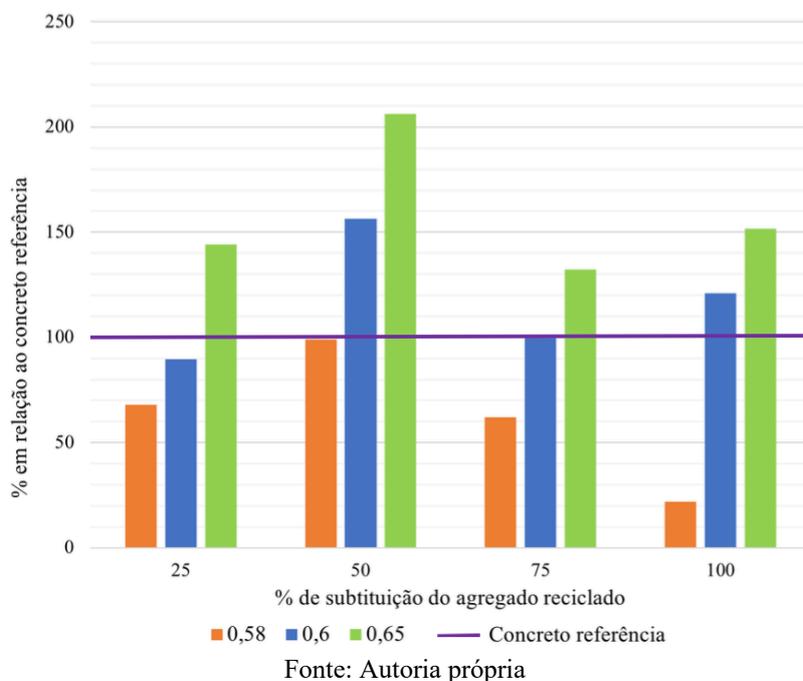
350 Percebe-se, pela análise da Figura 2, que a maior resistência obtida foi de 21,49 MPa na relação
351 a/c de 0,58 com 0% de adição do agregado reciclado. No entanto, nota-se que os resultados para 50%
352 de substituição também tiveram um bom desempenho para todas as relações a/c analisadas.

354 Nota-se ainda, por meio da Figura 2, que as resistências do concreto com 0% de agregado
355 reciclado diminuíram cerca de 50% com o aumento da quantidade de água, mesma situação ocorrida
356 nos resultados de Rodrigues e Fucale (2014). Verifica-se também que, para a relação a/c de 0,58,
357 todos os valores de resistência foram inferiores aos do concreto com insumo natural, porém a
358 substituição de 50% gerou resultado bem próximo a referência. Destaca-se que para a proporção a/c
359 de 0,65, a substituição melhorou o comportamento da resistência à compressão para todas as
360 substituições analisadas.

361 Na Figura 3 é apresentada uma comparação das resistências alcançadas aos 28 dias, em
362 percentual, onde a linha marcada representa o concreto referência (100% de areia natural). Observa-

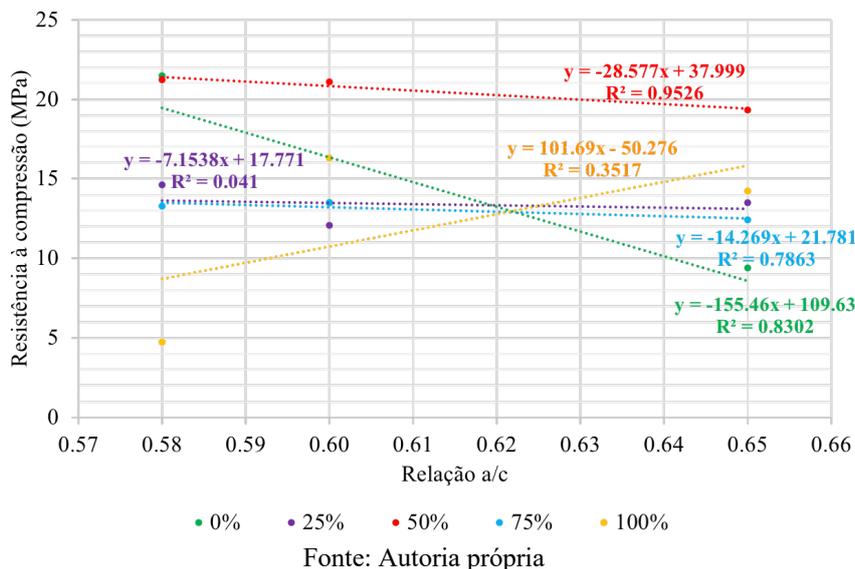
363 se que diversos teores de substituição trouxeram benefícios ao concreto no tocante à resistência à
 364 compressão, o que reforça a viabilidade do uso desse agregado.

365 Figura 3 – Comparação das resistências à compressão aos 28 dias obtidas com o concreto referência



366 Na Figura 4 foi traçada a reta que melhor se ajusta aos três valores obtidos, aos 28 dias, por
 367 cada porcentagem de substituição nas relações a/c utilizadas. Foi observado que com o aumento da
 368 relação a/c houve uma queda dos resultados em todos os teores de substituição, exceto no de 100%.
 369 Portanto, notou-se que a substituição contribuiu com a minoração da queda da resistência à
 370 compressão provocada pelo acréscimo de água na mistura. Esse comportamento pode estar
 371 relacionado com a presença de cimento e a composição do RCCL, necessitando uma maior
 372 quantidade de água para melhor aderência dos constituintes desse concreto e melhor empacotamento
 373 dos agregados, proporcionando uma mistura com menor índice de vazios, maior densidade e melhor
 374 distribuição das partículas que compõe o material.

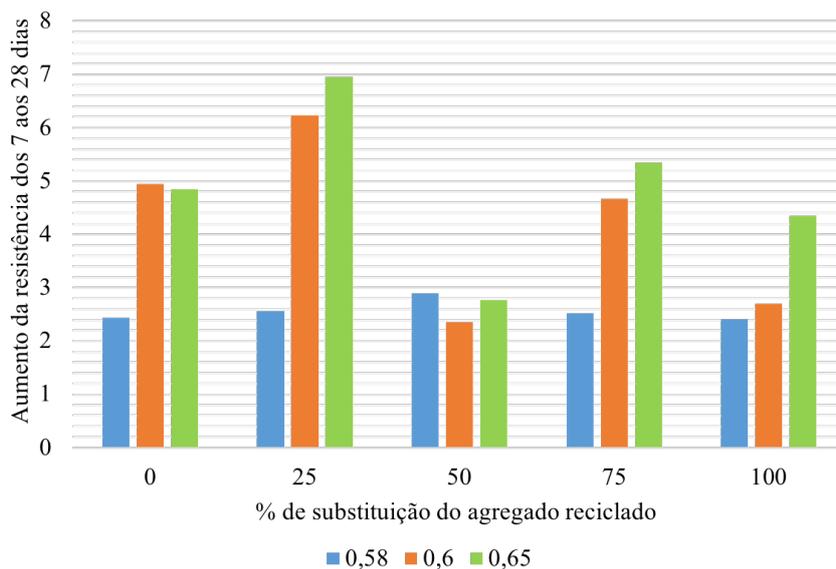
376 Figura 4 – Ajuste linear das resistências à compressão obtidas aos 28 dias conforme a relação a/c



377

378 Na Figura 5 foi comparado os resultados alcançados nas duas idades ensaiadas, e o aumento
 379 mais significativo foi no concreto com 25% de agregado de RCCL nas relações a/c de 0,60 e 0,65.
 380 No teor de 0,58 não houve uma grande variação no acréscimo da resistência nos ensaios de 7 e 28
 381 dias nas diferentes porcentagens do material reciclado. Na substituição de 50%, o incremento dos
 382 valores para as três quantidades de água e cimento utilizadas estão próximos. Pode-se associar o
 383 comportamento dos teores com os resultados obtidos por Tavares e Kazmierczak (2016), onde o
 384 aumento da quantidade de água também proporcionou, de forma geral, maiores acréscimos de
 385 resistência entre as duas idades.

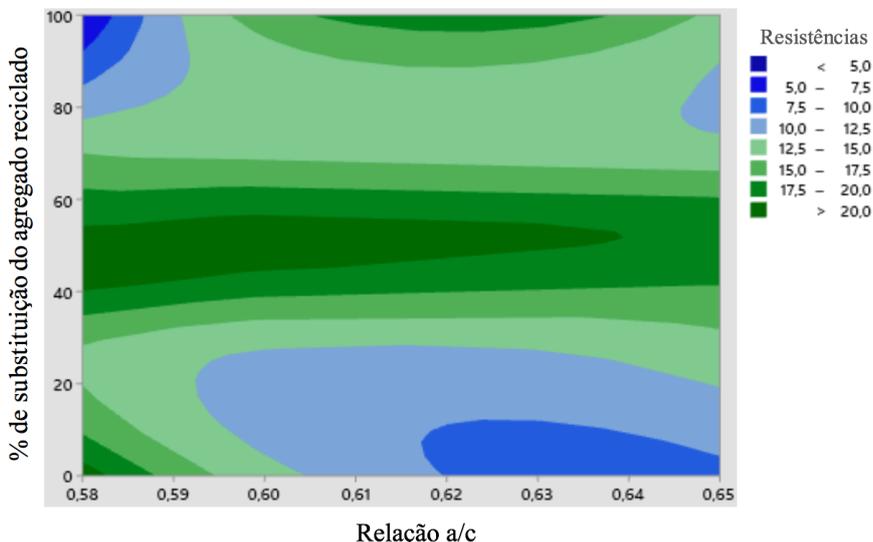
386 Figura 5 – Relação das resistências à compressão aos 7 e 28 dias



387 Fonte: Autoria própria

388 Na Figura 6 estão representadas as resistências aos 28 dias, evidenciando as regiões com os
 389 melhores e piores comportamentos.

390 Figura 6 – Gráfico de contorno das resistências à compressão aos 28 dias



391 Fonte: Autoria própria

392 Percebe-se, na Figura 6, que a região compreendida entre 40% e 58% de areia reciclada foram
 393 obtidas as maiores resistências (> 20 MPa). Este fato corrobora a hipótese de que o agregado reciclado

394 pode ser utilizado como substituto do agregado natural, inclusive para resistências estruturais,
395 conforme descreve a ABNT NBR 12655:2015, no tocante a resistência à compressão.

396 Observa-se ainda, que as menores resistências estão concentradas na região que vincula as
397 menores relações a/c e os maiores consumos de areia reciclada. Nota-se que para 0% de RCCL
398 reciclado, a resistência diminui até os valores entre [7,5 a 10,0 MPa] com o aumento da relação a/c.
399 No entanto, para 50% de adição de areia reciclado, esse valor reduz no máximo até 17,5 MPa, o que
400 mostra os benefícios da substituição do agregado natural pelo reciclado.

401 4.2.2 Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica

402 Os valores encontrados para a absorção de água, índice de vazios e massa específica dos
403 concretos estão representados na Tabela 4.

404 Tabela 4 – Resultados dos ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto endurecido

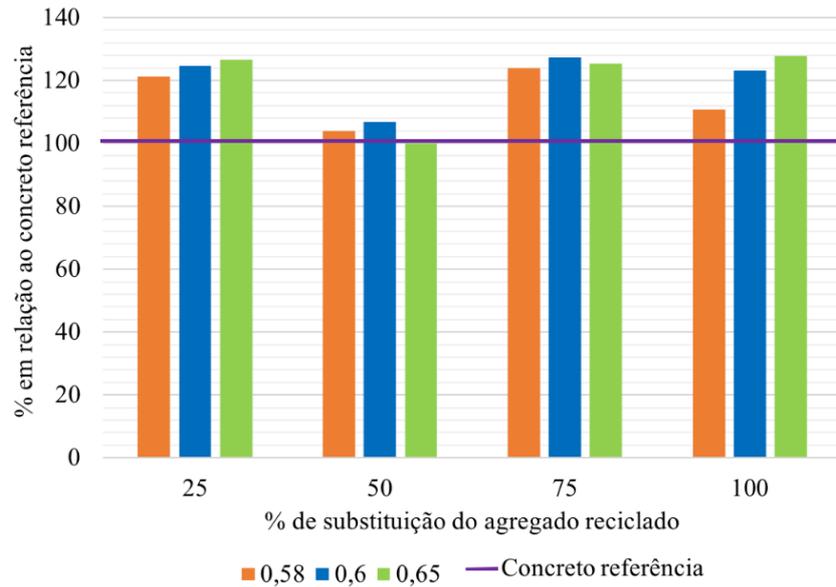
Substituição do agregado reciclado (%)	Relação a/c	Absorção de água (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (g/cm ³)
0	0,58	7,5	16,2	2,59
	0,60	7,3	15,1	2,46
	0,65	7,9	16,4	2,47
25	0,58	9,1	17,3	2,31
	0,60	9,1	17,7	2,36
	0,65	10,0	19,2	2,37
50	0,58	7,8	15,9	2,43
	0,60	7,8	15,9	2,43
	0,65	7,9	15,9	2,40
75	0,58	9,3	18,4	2,44
	0,60	9,3	18,5	2,45
	0,65	9,9	19,4	2,41
100	0,58	8,3	16,0	2,29
	0,60	9,0	17,4	2,34
	0,65	10,1	19,4	2,40

405 Fonte: Autoria própria

406 Observou-se, de forma geral, que com o incremento de agregado reciclado, houve um aumento da
407 absorção de água e da quantidade de vazios e uma diminuição da massa específica do concreto. Esse
408 comportamento é semelhante às pesquisas retratadas no item 2.5 e está associado à maior quantidade
409 de cimento e ao aumento da porosidade dos agregados de RCCL. Com isso, os concretos reciclados
410 estão mais propícios a processos de deterioração causados por substâncias transportadas pela água
411 através de seus poros e que podem proporcionar corrosões nas armaduras da estrutura.

412 Por meio da Figura 7 percebe-se que a absorção de água dos concretos com adição do material
413 reciclado é maior que os resultados do concreto referência. Houve um aumento de até 7% e 28% para
414 as proporções de 50% e 100%, respectivamente. Confirmando os resultados, Rodrigues e Fucale
415 (2014) encontraram o incremento para a substituição de 50% de até 12% e para o teor de 100% de
416 27% em relação à referência.

Figura 7 – Absorção de água



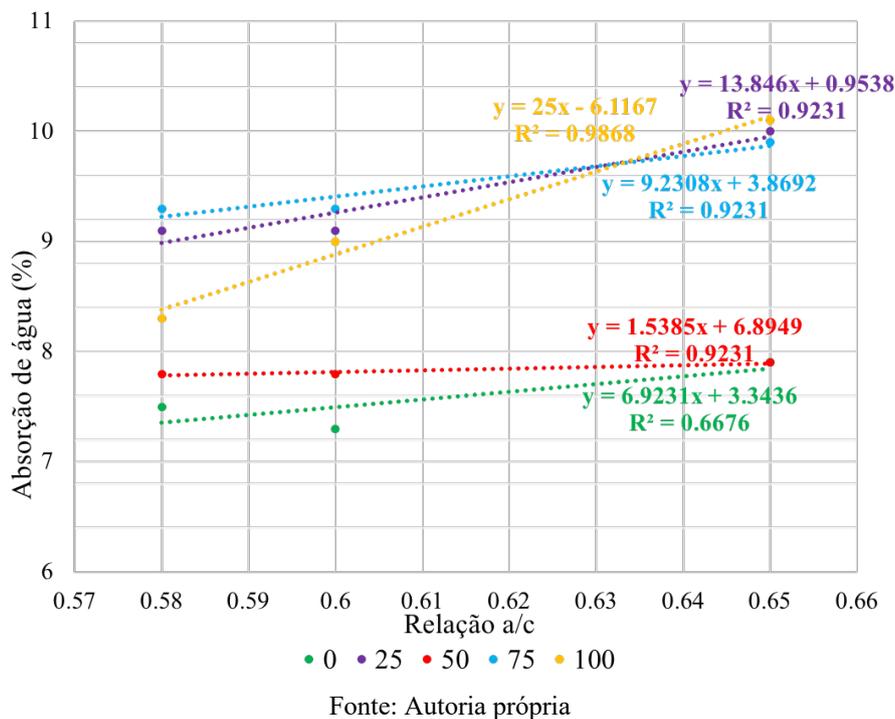
418

Fonte: Autoria própria

419 De acordo com a Figura 8, o aumento da relação a/c proporciona maiores taxas de absorção de
 420 água em todas as porcentagens de substituição. Esse comportamento é similar ao que acontece com
 421 os índices de vazios, onde o aumento da quantidade de água e da porcentagem de RCCL eleva os
 422 valores obtidos, sendo que os teores de 0% e 50% possuem resultados próximos. Conseqüentemente,
 423 nessa mesma situação, as massas específicas dos concretos reciclados tendem a diminuir. Na pesquisa
 424 realizada por Ulloa-Mayorga *et al.* (2018) essa redução foi de 8% para o agregado com 100% de RCC
 425 em relação a referência, semelhante às obtidos nesse trabalho, que variaram entre 2% a 13%.

426

Figura 8 – Ajuste linear das absorções de água obtidas



427

428

Fonte: Autoria própria

429 5 CONCLUSÃO

430 Diante dos resultados expostos, foi possível concluir que o uso de agregado miúdo reciclado,
431 além de contribuir para preservar os recursos naturais limitados e reduzir gastos na construção civil,
432 também se mostrou uma alternativa satisfatória na produção de concreto com resistência à
433 compressão estrutural. A mistura com 50% de substituição da areia pelo RCCL reciclado obteve os
434 melhores resultados, alcançando f_{ck} de 21,24 MPa, 21,11 MPa e 19,35 MPa, nas relações a/c de 0,58,
435 0,60 e 0,65, respectivamente. Porém, o alto teor de material pulverulento, a maior quantidade de
436 vazios e a presença de cimento na constituição desses agregados ocasionaram a produção de concretos
437 com menor trabalhabilidade, maiores taxas de absorção de água, índices de vazios mais elevados e,
438 consequentemente, menores massas específicas.

439 Comparando os resultados obtidos nessa pesquisa com os estudos retratados no item 2.5,
440 percebe-se que as resistências à compressão do concreto reciclado, de forma geral, apresentaram
441 melhores desempenhos em relação à referência. Esse fato comprova que a utilização de resíduos da
442 construção civil laboratorial pode ser benéfica, produzindo concretos com comportamentos
443 satisfatórios para serem utilizados construções civis.

444 Destaca-se ainda que a utilização de RCCL pode contribuir com a redução dos descartes em
445 laboratórios de pesquisa e concreteiras, que produzem uma grande quantidade de corpos de prova de
446 concreto. Além disso, esses resíduos apresentam menor grau de contaminação por outros materiais
447 utilizados nas construções, como plástico, gesso, vidro e insumos que contenham matéria orgânica,
448 cloretos e sulfatos.

449 A homogeneidade dos resíduos provenientes de laboratórios é um fator que contribui para sua
450 utilização como agregado miúdo do concreto, porém ressalta-se a importância da realização dos
451 ensaios apresentados nessa pesquisa a fim de viabilizar o uso desses materiais em obras da construção
452 civil. Nesse sentido, outras propriedades que não foram abordadas no presente trabalho também
453 devem ser consideradas, tais como a fluência, retração, resistência à abrasão e durabilidade do
454 material produzido.

455 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

456 ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados**
457 **e a influência de suas características no comportamento de concretos.** Tese (Doutorado) – Escola
458 Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. 149 p.

460 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30: Agregado miúdo –**
461 **Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2001. 3p.

463 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 49: Agregado miúdo –**
464 **Determinação de impurezas orgânicas.** Rio de Janeiro, 2001. 3p.

466 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo –**
467 **Determinação de massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009. 6p.

468
469 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados –**
470 **Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003. 6p.
471
472 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados –**
473 **Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006. 8p.
474
475 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46: Agregados –**
476 **Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem.** Rio de Janeiro,
477 2003. 6p.
478
479 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27: Agregados – Redução**
480 **da amostra de campo para ensaios de laboratório.** Rio de Janeiro, 2001. 7p.
481
482 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto**
483 **– Especificação.** Rio de Janeiro, 2005. 11p.
484
485 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116: Agregados reciclados de**
486 **resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem**
487 **função estrutural – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2004. 12p.
488
489 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto**
490 **endurecido – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa**
491 **específica.** Rio de Janeiro, 2015. 9p.
492
493 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de**
494 **compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018. 9p.
495
496 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento**
497 **para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015. 9p.
498
499 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento**
500 **Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2006. 18p.
501
502 BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção.** vol 2. 5 ed. Revisão técnica de João Fernandes
503 Dias. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 488p.
504
505 BRITO, F. M; PICANÇO, A. P. **Diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos da construção**
506 **civil – RCC no município de Palmas – TO, com foco nas ações públicas.** Revista Interdisciplinar
507 da Universidade Federal de Tocantins, v. 2, n. 2, p. 221-239, jan/jun. 2016. Disponível em:
508 <<http://dx.doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2016v2n2p221>>. Acesso em: 11 de agosto de 2019.
509
510 CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D.;
511 RAVINDRARAJAH, R. S. **Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica**
512 **vermelha.** Cerâmica [online]. 2009, vol. 55, n. 336, p. 448-460. ISSN 0366-6913. Disponível em:
513 <<http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132009000400016>>. Acesso em: 3 de agosto de 2019.
514
515 CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D.;
516 RAVINDRARAJAH, R. S. **Modelagem da retração por secagem de concretos produzidos com**
517 **agregados reciclados.** Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 3, n. 1, p. 1-23. Março, 2010.
518
519 CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes**
520 **de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto.** Dissertação

521 (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP,
522 2005.
523

524 COELHO JR., A. R.; GONÇALVES, B. B.; SALOMÃO, P. E. A.; COSTA JR., H.; SILVA, I. G.
525 **Importância do gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil.** Research, Society and
526 Development, v. 7, n. 10, p. 01-17, ISSN 2525-3409, 2018.
527

528 CONAMA. **Resolução nº 307.** Julho, 2002. p. 95-96.
529

530 FAGURY, S. C.; GRANDE, F. M. **Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) –**
531 **aspectos gerais da gestão pública de São Carlos/SP.** Revista Exacta. São Paulo, v. 5, n. 1, p. 35-
532 45, jan./jun. 2007.
533

534 GUALBERTO, A. B.; AZEVEDO, I. C. A. D., PEREIRA, R. M. R. **Avaliação do uso de resíduos**
535 **da construção civil reciclados como agregados do concreto em um pátio de compostagem.** REEC
536 – Revista Eletrônica de Engenharia Civil. 2019, v. 15, n. 1, p. 31-51. Disponível em:
537 <<https://doi.org/10.5216/reec.v15i1.490>>. Acesso em: 11 de agosto de 2019.
538

539 LA SERNA, Humberto A.; REZENDE, Márcio M. **Agregados para a construção civil.**
540 Departamento Nacional de Produção Mineral, 2009. p. 602-635. Disponível em:
541 <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral>>. Acesso em: 9
542 de agosto de 2019.
543

544 LEITE, I.; DAMASCENO, J.; REIS, A.; ALVIM, M. **Gestão de resíduos na construção civil:**
545 **um estudo em Belo Horizonte e região metropolitana.** REEC – Revista Eletrônica de Engenharia
546 Civil. 2018, v. 14, n. 1, p. 159-175. Disponível em: <<https://doi.org/10.5216/reec.v14i1.444>>. Acesso
547 em: 10 de agosto de 2019.
548

549 LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados**
550 **reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia
551 Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2001.
552

553 MARTÍNEZ-SOTO, I. E.; MENDOZA-ESCOBEDO, C. J. **Comportamiento mecánico de**
554 **concreto fabricado con agregados reciclados.** Ingeniería Investigación y Tecnología, VII, 3., 151-
555 164, 2006.
556

557 OLIVEIRA, D. D.; SOARES, F. D. N.; BATISTA, G. S.; MAGNI, J. R.; KRUG, L. F. **Produção de**
558 **concreto com uso de agregados reciclados oriundos de resíduos da construção civil.** In:
559 Seminário de Iniciação Científica, 24., Panambi, 2016.
560

561 PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F.; LEVY, S. M. **Durabilidade de concretos com agregados**
562 **reciclados: uma aplicação de análise hierárquica.** Associação Nacional de Tecnologia do
563 Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 125-134, jul./set. 2012.
564

565 POON, C. S.; KOU, S. C.; LAM, L. **Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and**
566 **blocks.** Construction and Building Materials, Vol.16, p. 281-289, 2002.
567

568 RODRIGUES, C. R. S.; FUCALE S. **Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo**
569 **reciclado de resíduo da construção civil.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente
570 Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 99-111, jan./mar. 2014.
571

572 SANTOS, S. B. J. S.; TORRES, A. D.; LIMA, E. E. P.; CARVALHO, C. M.; SOBRINHO A. S.
573 **Utilização de resíduos de corpos de prova em substituição do agregado graúdo de concretos.**
574 Revista InterScientia. v. 4, n. 2, 2016.
575

576 SILVA, O. H.; UMADA, M. K.; POLASTRI, P.; NETO, G. A.; ANGELIS, B. L. D.; MIOTTO, J.
577 L. **Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil.** Revista do Centro de Ciências
578 Naturais e Exatas – UFSM. INSS: 22361170. Santa Maria, v. 19, p. 39-40, 2015.
579

580 SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São
581 Paulo: Pini, 1998.
582

583 TAVARES, L. M.; KAZMIERCZAK, C. S. **Estudo da influência dos agregados de concreto**
584 **reciclado em concretos permeáveis.** Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 9, n. 1, p. 75-90.
585 Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2016.
586

587 TENÓRIO J. J. L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados**
588 **de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais.** Programa de Pós-
589 graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió,
590 2007.
591

592 TENÓRIO J. J. L.; GOMES, P. C. C.; RODRIGUES, C. C.; ALENCAR, T. F. F. **Concrete produced**
593 **with recycled aggregates.** Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 5, n. 5, p. 692-701. Outubro,
594 2012.
595

596 TROMBIM, D. C.; PORTELA, I. F.; GONÇALVES, E. P. **Concreto reciclado: estudo e**
597 **caracterização das matérias primas.** Revista Univap [online]. 2016, v. 22, n. 40. Disponível em:
598 <<http://dx.doi.org/10.18066/revistaunivap.v22i40.1321>>. Acesso em: 9 de agosto de 2019.
599

600 ULLOA-MAYORGA, V. A.; URIBE-GARCÉS, M. A.; PAZ-GÓMEZ, D. P.; ALVARADO, Y. A.;
601 TORRES, B.; GASCHI I. (2018) **Performance of pervious concrete containing combined recycled**
602 **aggregates.** Ingeniería e Investigación, vol. 38, n.2, p. 34-41. Disponível em:
603 <[10.15446/ing.investig.v38n2.67491](http://dx.doi.org/10.15446/ing.investig.v38n2.67491)>. Acesso em: 12 de agosto de 2019.
604

605 ULSEN, C.; KAHN, H.; ANGULO S. C.; JOHN, V. M.; HAWLITSCHKE, H. **Separabilidade de**
606 **agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição de diferentes origens.**
607 Holos, ano 30, v. 3, p. 341-348 – Edição especial. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.
608

609 VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN D. C. C. **Resistência e Durabilidade de Concretos Produzidos com**
610 **Agregados Reciclados Provenientes de Resíduos de Construção e Demolição.** Tese (Doutorado
611 em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004.