

28 **INFLUENCE OF INORGANIC PIGMENT CONTENT ON PHYSICAL-**
29 **MECHANICAL PROPERTIES AND DURABILITY OF WHITE PORTLAND**
30 **CEMENT CONCRETES**

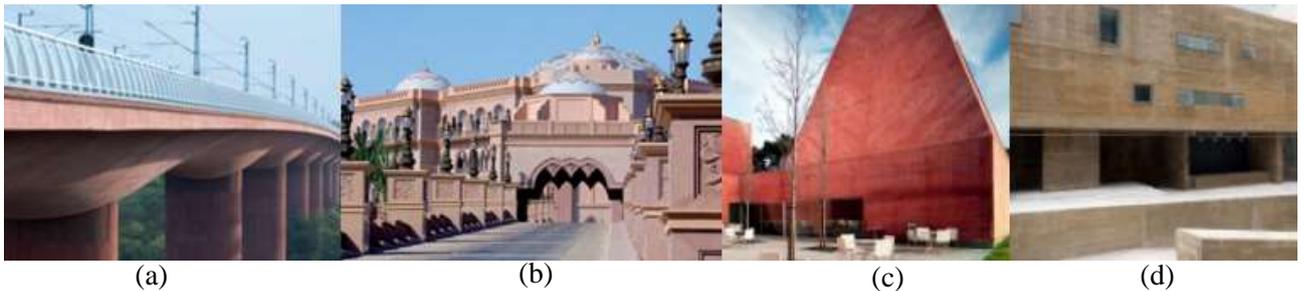
31 **Keywords:** Colored concrete, Pigments, Inorganic pigments, Pigment contents, Durability.

32 **Abstract:** Pigmented concrete is an interesting architectural component due to its versatility.
33 However, this colored concrete can be limitations, such the color reduction when exposed to
34 weather. Thus, this work shows the influence of pigment content on different properties of concrete.
35 For this, concretes were produced using three different shades of inorganic pigments in green, red
36 and black in the contents of 10% in relation to the white Portland cement mass. Specifically in one
37 of the pigment colors (red) used in concretes, its content was evaluated (0%, 5% and 10%). Tests of
38 compressive strength and water absorption were performed. Changes in surface colorimetric
39 characteristics of pigmented concretes were also observed by wetting and drying cycles. As a result,
40 the addition of pigment to concretes did not result in significant differences in compressive strength
41 when compared to non-pigmented concrete (reference concrete – 0%). The content and color of the
42 adopted pigments had no show significant influence on the analyzed absorption. Through aging
43 accelerated by wetting and drying cycles, the reference concrete started to appear darker, while the
44 concrete with pigment addition showed some loss of color.
45

46 1 INTRODUÇÃO

47 Os pigmentos utilizados no concreto cromático podem ter origem natural (mineral), como
48 hematita (avermelhada, laranja, roxa e marrom), a goethite (amarelo), a lepidocrocite (marrom), a
49 calcita (branco), a dolomite (branco), a celadonita (verde), a malaquita (verde) e o quartzo
50 (translúcido e branco) e outros pigmentos podem ser produzidos por síntese em laboratório: litharge
51 (avermelhado), massicot (amarelo), chumbo vermelho (laranja), Óxido de cromo (verde), preto de
52 carvão e azul egípcio [11].

53 Podemos destacar exemplos do uso de concreto cromático em diversos lugares, como Suécia,
54 Emirados Árabes Unidos, Portugal e Brasil, como apresentado na Figura 1 [23].
55



56
57

58 Figura 1: Exemplos de aplicações de concreto cromático: (a) estrutura em concreto armado e protendido na cor
59 marrom avermelhada do plano de sustentação do sistema ferroviário da nova Ponte Årsta em Estocolmo/Suécia; (b)
60 estrutura e fachada do Hotel Emirates Palace em Abu Dhabi; (c) casa das histórias Paula Rego em Cascais, Portugal
61 e (d) Praça das Artes, em São Paulo, Brasil. [23][23]

62 O concreto colorido foi inicialmente produzido na Inglaterra, no ano de 1920 e utilizado na
63 produção de peças pré-moldadas [1], atualmente também é utilizado na produção de artefatos de
64 cimento e pisos de concreto [22][17].

65 Um fator positivo acerca do concreto pigmentado diz respeito ao seu diferencial estético e
66 arquitetônico [20]. No entanto, seu custo final ainda é um ponto negativo, levando em consideração
67 o custo dos pigmentos encontrados no mercado.

68 Segundo [22], para que o concreto colorido seja inserido no mercado de forma mais ampla e
69 confiável, é importante conhecer sua resistência e durabilidade, podendo assim evitar a
70 manifestação de patologias. O autor ressalta ainda que apesar da variabilidade de estudos
71 relacionados aos concretos com cimento cinza, ainda há uma necessidade de avaliar as propriedades
72 dos concretos pigmentados e, sobretudo, sobre os efeitos da pigmentação e da interação entre os
73 materiais constituintes.

74 É de conhecimento no meio técnico científico que pigmentos podem apresentar poder de
75 pigmentação diferente, o que significa que a mesma quantidade de dois pigmentos diferentes pode
76 produzir uma intensidade de cor diferente. A literatura relata ainda a preocupação de obter
77 concretos com cores permanentes sem produzir efeitos muito adversos no estado fresco e no estado
78 endurecido de materiais cimentícios [17].

79 Em relação a propriedades no estado fresco e endurecido de concretos, a literatura relata redução
80 de trabalhabilidade com a adição de pigmentos [9],[16] e, para alguns autores a resistência à
81 compressão pode ser reduzida [10],[14], para outros não há alteração [8],[9] e ainda para outros
82 registram acréscimo [12]. A durabilidade segundo a literatura pode variar e ser função da cor do
83 pigmento [2],[9],[19].

84 Estudos realizados por [24] afirmam que a adição de pigmentos de óxido de ferro pode aumentar
85 em cerca de 50% a resistência à compressão do concreto colorido em relação ao concreto não
86 pigmentado. Já [21] relata que o uso de pigmento provoca uma leve diminuição da resistência à
87 compressão do concreto. Parece haver uma dependência do tipo e cor do pigmento.

88 Desta forma, este trabalho pretende avançar com contribuições sobre o concreto colorido,
89 analisando a influência do teor e da cor de pigmentos de óxido de ferro no seu comportamento
90 mecânico à compressão e na sua durabilidade, avaliado por meio de testes de absorção e análise
91 colorimétrica.

92 2 OBJETIVOS

93 O presente trabalho tem como objetivo avaliar propriedades mecânicas e de durabilidade em
94 concretos coloridos com pigmentos inorgânicos à base de ferro de diferentes cores (preto, vermelho
95 e verde), adicionados no teor de 10% em substituição a massa de cimento, comparativamente ao
96 concreto branco (sem pigmentos/concreto referência). Especificamente nos concretos vermelhos, a
97 quantidade de pigmentos 5% e 10% foram analisadas.

98 As propriedades mecânicas e de durabilidade foram resistência à compressão nas idades de 3,7 e
99 28 dias, características visuais colorimétricas antes e após ciclos de envelhecimento natural e
100 absorção de água por imersão e por capilaridade do concreto colorido.

101 3 METODOLOGIA

102 3.1 Materiais utilizados

103 Foi utilizado o cimento *Portland* branco e agregados de origem calcária, sendo tais materiais
104 descritos a seguir.

105 3.1.1 Cimento

106 Para a produção do concreto colorido, utilizou-se cimento branco estrutural do tipo Portland 40
107 (CPB40) *Axton*, Suas características físicas estão dispostas na Tabela 1.

108

109

Tabela 1: Caracterização física do cimento utilizado. [18]

Características Físicas		
Perda ao fogo	≤ 5 %	
Resíduo insolúvel	≤ 5 %	
Teor de Sulfatos	≤ 4 %	
Teor de Cloretos	≤ 0,1 %	
Início de pega	≥ 45 min	
Expansibilidade	≤ 10 mm	
Resistência à compressão (MPa)	2 dias	> 37
	28 dias	≥ 60

110 3.1.2 Agregados

111 As características e a distribuição granulométrica do agregado graúdo estão apresentadas na
112 Tabela 2 a seguir.

113

Tabela 2: Caracterização física do agregado graúdo

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da peneira	Porcentagem retida	
Composição granulométrica	NM 248	ABNT (mm)	Individual	Acumulada
		9,5	0	0
		4,8	4	4
		2,4	77	81
		1,2	14	95
		0,6	2	97
		0,3	0	97
		0,15	0	97
		< 0,15	3	100
Dimensão máxima característica	NM 248	4,8 mm		
Módulo de finura	NM 248	4,72		
Massa específica	NBR 9776	2732 kg/m ³		
Massa unitária	NM 45	1470,33 kg/m ³		

115

116 A distribuição granulométrica e as características do agregado miúdo utilizado estão relacionadas
117 na Tabela 3 a seguir.

118

119

Tabela 3: Caracterização física do agregado miúdo

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da peneira	Porcentagem retida	
Composição granulométrica	NM 248	ABNT (mm)	Individual	Acumulada
		4,8	0	0
		2,4	3	3
		1,2	75	79
		0,6	18	96
		0,3	0	96
		0,15	0	96
		< 0,15	4	100
Dimensão máxima característica	NM 248	2,4 mm		
Módulo de finura	NM 248	3,71		
Massa específica	NBR 9776	2732 kg/m ³		
Massa unitária	NM 45	1465,48 kg/m ³		

120 3.1.3 Fíler

121 A distribuição granulométrica e as características físicas do fíler estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Caracterização física do filler

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da peneira	Porcentagem retida	
Composição granulométrica	NM 248	ABNT (mm)	Individual	Acumulada
		4,8	0	0
		2,4	0	0
		1,2	0	0
		0,6	0	0
		0,3	16	16
		0,15	20	37
		< 0,15	63	100
Dimensão máxima característica	NM 248	0,6 mm		
Módulo de finura	NM 248	0,53		
Massa específica	NM 23	2746 kg/m ³		
Massa unitária	NM 45	1434,74 kg/m ³		

123 3.1.4 Pigmentos

124 A efeito de comparação dos efeitos da adição de pigmentos nas propriedades do concreto
125 colorido foram utilizados pigmentos em três tonalidades: verde, vermelho e preto.

126 De acordo com o fabricante Lanxess, esses materiais não apresentam efeitos tóxicos. Suas
127 características físicas foram disponibilizadas pelo próprio fabricante (Tabela 5).

128 Tabela 5: Caracterização físico-química dos pigmentos utilizados. [15]

Propriedades físico-químicas	Pigmento Verde	Pigmento Vermelho	Pigmento Preto
Estado físico	Sólido	Sólido	Sólido
Cor	Verde	Vermelho	Preto
pH	8 a 8,5	2,5 a 8	8 a 10
Densidade	1,4 a 1,6 kg/L	4,4 a 4,7 kg/L	2,1 a 2,4 kg/m ³
Densidade aparente	Não disponível	0,7 a 1,1 kg/m ³	0,8 a 1 kg/m ³
Solubilidade	Insolúvel em água fria	Insolúvel em água fria	Insolúvel em água fria

129 3.1.5 Aditivo superplastificante

130 Usou-se um aditivo super plastificante de base éter poli carboxílico modificado, fornecido pelo
131 fabricante BASF. Os dados técnicos do aditivo utilizado estão disponíveis na Tabela 6.

132 Tabela 6: Dados técnicos do aditivo super plastificante utilizado. [7]

Base química	Éter policarboxílico
Aspecto	Líquido
Cor	Branco turvo
pH	5,85
Densidade (g/cm³)	1,065
Sólidos (%)	30,01
Viscosidade (cps)	< 150

133 3.1.6 Água

134 Foi utilizada água proveniente da rede de abastecimento local, com condições de potabilidade.

135 3.2 Ensaios realizados

136 Os concretos com pigmentos moldados foram testados quanto à resistência à compressão,
137 absorção de água por capilaridade, absorção de água por imersão e análise colorimétrica.

138 Foram testados à compressão simples corpos de prova cilíndricos de 5x10 cm nas idades de 7, 14
139 e 28 dias. A cada idade de ruptura foram ensaiados quatro corpos de prova, totalizando doze corpos
140 de prova para cada mistura de concreto colorida analisada.

141 A execução do ensaio para determinação da absorção de água por capilaridade do concreto
142 produzido seguiu as recomendações da norma ABNT NBR 9779:2012 – Argamassa e concreto
143 endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade [6].

144 Para este ensaio, foram moldados 3 corpos-de-prova cilíndricos de 5x10 cm para cada
145 combinação da matriz experimental, foram desmoldados após 24 horas e permaneceram em câmara
146 úmida até a idade de 28 dias.

147 Conforme descrito na ABNT NBR 9779:2012, a absorção foi monitorada por 72 horas, sendo
148 realizadas pesagens das amostras em intervalos de tempo de 3, 6, 24, 48 e 72 horas. Para o registro
149 da massa, os corpos-de-prova foram retirados da água e secos superficialmente com pano úmido,
150 para que fosse retirado o excesso de água. Por fim, os corpos-de-prova foram rompidos por
151 compressão diametral, de acordo com a NBR 7222 [4][4].

152 A absorção de água por imersão foi determinada a partir da norma ABNT NBR 9778:2005 –
153 Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de
154 vazios e massa específica [5]. Para a realização deste ensaio, foram utilizados 3 corpos-de-prova de
155 cada mistura de concreto produzido, os quais permaneceram em câmara úmida até a idade de 28
156 dias.

157 Após esse período, os corpos-de-prova permaneceram 72 horas em estufa e em seguida
158 permaneceram imersos em água por mais 72 horas, tendo sua massa determinada a cada 24 horas,
159 conforme recomendado pela ABNT NBR 9778:2005. Por fim, as amostras passaram por processo
160 de fervura e foram novamente pesadas após seu resfriamento.

161 Já com o objetivo de acelerar a degradação nos concretos, realizaram-se ciclos de molhagem e
162 secagem do concreto. Após o período de 14 dias em cura, os corpos de prova foram colocados em
163 estufa a $55 \pm 5^\circ\text{C}$ por um dia e, em seguida, foram imersos em água também por um dia. Esses 2
164 dias (1 dia seco e 1 dia imerso) constituíram um ciclo, conforme determinado pelas autoras.
165 Alternadamente, alguns desses ciclos duraram 4 dias no total, onde os corpos de prova estiveram 3
166 dias imersos e 1 dia para secagem em estufa. Ao todo, foram realizados 10 ciclos para cada
167 combinação de concreto produzido, totalizando 28 dias de ensaio. Todas as amostras tiveram as
168 mesmas condições de degradação.

169 Os corpos de prova que passaram por ciclos de molhagem e secagem tiveram sua coloração
170 analisada ao início, ao meio (5 ciclos) e ao fim do período (10 ciclos) em que passaram pelos ciclos
171 de molhagem e secagem, por meio do *software Adobe Photoshop CC*. Para que fosse possível
172 analisar a cor do corpo de prova em diferentes ciclos, foi considerado um mesmo ponto de cada
173 corpo de prova e obtidas suas cores nos ciclos determinados a partir de uma mesma câmera
174 fotográfica, buscando a mesma distância focal, com o ambiente definido como uma caixa de luz
175 utilizada propriamente em estúdios fotográficos. O efeito de comparação, as cores obtidas nos

176 ciclos analisados foram colocadas lado a lado, a fim de concluir como tal processo acelerado pode
177 afetar a durabilidade da cor do concreto colorido.

178 4 RESULTADOS

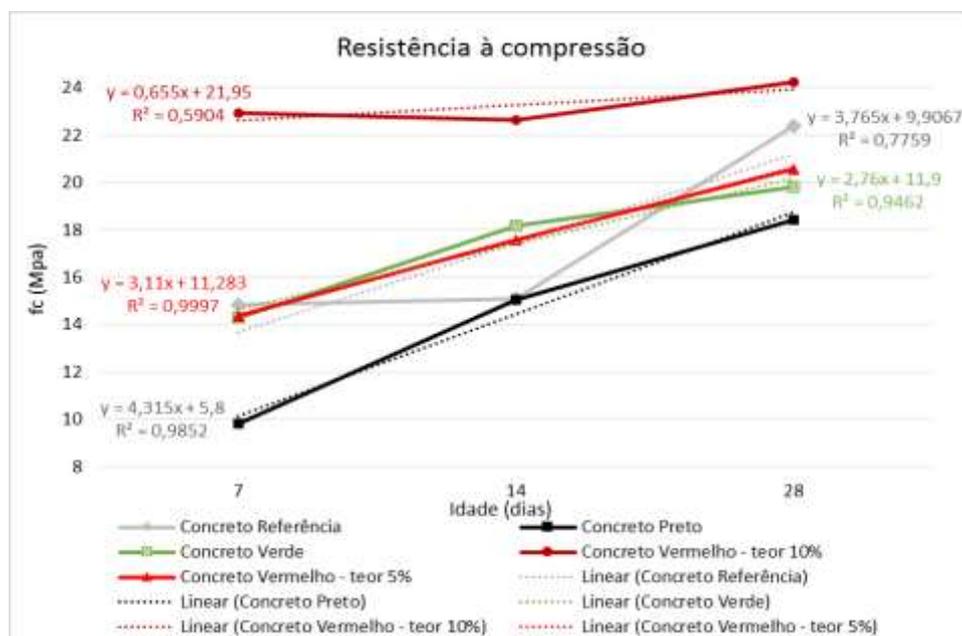
179 4.1 Resistência à compressão axial

180 Foram rompidos quatro corpos-de-prova de cada tipo de concreto moldado, em três idades
181 diferentes: 7 14 e 28 dias. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 7.

182 Tabela 7: Resultados de resistência à compressão.

Tipo de concreto	Teor de pigmento	Idade	Resistência média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Referência	0%	7 dias	14,84	0,53	3,57
		14 dias	15,1	0,65	4,28
		28 dias	22,37	0,8	3,58
Preto	10%	7 dias	9,81	1,45	14,82
		14 dias	15,04	1,03	6,83
		28 dias	18,44	2,36	12,81
Vermelho	10%	7 dias	22,92	3,31	14,46
		14 dias	22,63	2,61	11,56
		28 dias	24,63	1,81	7,48
Verde	10%	7 dias	14,28	0,23	1,58
		14 dias	18,18	1,05	5,8
		28 dias	19,8	2,76	13,95

183 Conforme indicado pela norma ABNT NBR 5739:2007 [3], o coeficiente de variação superior a
 184 6 indica um nível deficiente de avaliação do ensaio, sendo observado que alguns dos resultados
 185 obtidos alcançaram tal nível. Para melhor visualização dos resultados obtidos, a Figura 2 traz os
 186 resultados dispostos anteriormente em forma de gráfico.



187
 188 Figura 2: Gráfico dos resultados de resistência à compressão dos concretos.

189

190 Nota-se que, na idade de 14 dias, o concreto referência apresentou resistência à compressão
 191 inferior aos concretos pigmentados nas cores verde e vermelho, tendo resultado superior apenas ao
 192 valor obtido pelo concreto preto. No entanto, o concreto referência apresentou uma evolução
 193 considerável aos 28 dias, alcançando uma resistência à compressão superior à dos concretos
 194 pigmentados, com exceção do concreto com 10% de pigmento vermelho, sendo que o concreto
 195 pigmentado na cor preta apresentou a menor resistências entre os analisados, durante as três idades
 196 consideradas.

197 4.1.1 Análise Estatística dos Dados

198 A fim de se obter uma melhor interpretação dos resultados, os valores obtidos de resistência à
 199 compressão axial foram submetidos à análise estatística de variância (ANOVA) dos dados para
 200 saber, primeiramente, se houve influência do tipo de pigmento adicionado ao concreto,
 201 considerando teor de 10% de pigmento em resistência à compressão aos 28 dias, e em seguida, a
 202 fim de analisar a influência do teor de pigmento no concreto, considerando teores de 0, 5 e 10%,
 203 especificamente do concreto pigmentado na cor vermelha, também em relação aos valores obtidos
 204 de resistência aos 28 dias. Tal análise foi realizada, inicialmente, por meio do suplemento Análise
 205 de Dados disponível no software Excel.

206 O princípio de análise de variância é comparar à média e a dispersão dos dados entre grupos e
 207 amostras com a dispersão observada dentro dos grupos, admitindo como hipótese nula que os
 208 valores médios de todos os tratamentos são iguais ($F_{calculado} < F_{crítico}$). Portanto, se $F_{calculado} >$
 209 $F_{crítico}$, a hipótese nula é rejeitada, indicando que ao menos um dos valores é diferente. Foi
 210 considerado um nível probabilístico de significância de 5% ($p < 0,05$), o que significa que é
 211 esperado rejeitar a hipótese nula (H_0) 5% das vezes, quando de fato H_0 for verdadeira.

212 Primeiramente, foi analisada estatisticamente a significância entre os valores obtidos de
 213 resistência à compressão aos 28 dias do concreto referência (sem adição de pigmentos) e dos
 214 concretos analisados com teor 10% de pigmentos. O resultado dessa análise está indicado na Tabela
 215 8.

216 Tabela 8: Resultados da análise de variância (ANOVA) com 0% (concreto de referência) e 10% de teor de
 217 pigmento nas cores verde, vermelho e preto.

Efeito	SQ	GL	MQ	F calculado	P	F crítico	Resultado
Modelo	60,43149	3	20,14383	4,702135413	0,035547	4,066181	Significativo
Erro (resíduo)	34,2718	8	4,283975	-	-	-	-
Total	94,70329	11	-	-	-	-	-

218 Admitindo que:

219 SQ = Soma dos quadrados;

220 GL = Graus de liberdade;

221 MQ = Média dos quadrados;

222 F = Parâmetro de Fischer para o teste de significância dos efeitos;

223 P = Nível probabilístico de significância;

224 Resultado = resultado da análise, com indicação se o efeito é significativo ou não.

225 Analisando estatisticamente a influência da cor de pigmento adicionado ao concreto em teor de
 226 10%, em relação à resistência à compressão alcançada aos 28 dias, não houve diferença
 227 significativa nos resultados, conforme indicado na Tabela 9.

228 Tabela 9: Resultados da análise de variância (ANOVA) com 10% de teor de pigmento nas cores verde, vermelho e
 229 preto.

Efeito	SQ	GL	MQ	F calculado	P	F crítico	Resultado
Modelo	55,02587	2	27,51293	5,004333029	0,052649	5,143253	Não significativo
Erro (resíduo)	32,98693	6	5,497822	-	-	-	-
Total	88,0128	8	-	-	-	-	-

230 Onde:

231 SQ = Soma dos quadrados;

232 GL = Graus de liberdade;

233 MQ = Média dos quadrados;

234 F = Parâmetro de Fischer para o teste de significância dos efeitos;

235 P = Nível probabilístico de significância;

236 Resultado = resultado da análise, com indicação se o efeito é significativo ou não.

237 Contudo, ao analisar estatisticamente a influência do teor de pigmento no concreto em relação
 238 aos valores obtidos de resistência à compressão aos 28 dias, considerando teores de 0, 5 e 10% de
 239 pigmento vermelho, notou-se uma diferença significativa entre os resultados, ou seja, $F_{calculado} >$
 240 $F_{crítico}$, como pode ser observado na Tabela 10.

241 Tabela 10: Resultados da análise de variância (ANOVA) com 0, 5 e 10% de teor de pigmento vermelho.

Efeito	SQ	GL	MQ	F calculado	P	F crítico	Resultado
Modelo	20,02207	2	10,01103	6,832433457	0,028404	5,143253	Significativo
Erro (resíduo)	8,791333	6	1,465222	-	-	-	-
Total	28,8134	8	-	-	-	-	-

242 Sendo:
 243 SQ = Soma dos quadrados;
 244 GL = Graus de liberdade;
 245 MQ = Média dos quadrados;
 246 F = Parâmetro de Fischer para o teste de significância dos efeitos;
 247 P = Nível probabilístico de significância;
 248 Resultado = resultado da análise, com indicação se o efeito é significativo ou não.

249 Para testar a significância desses resultados, foi utilizado o *software Past*. Como resultado,
 250 constatou-se que o concreto no teor 10% de pigmento vermelho difere-se estatisticamente dos
 251 demais concretos, apresentando os valores mais elevados de resistência à compressão aos 28 dias de
 252 idade.

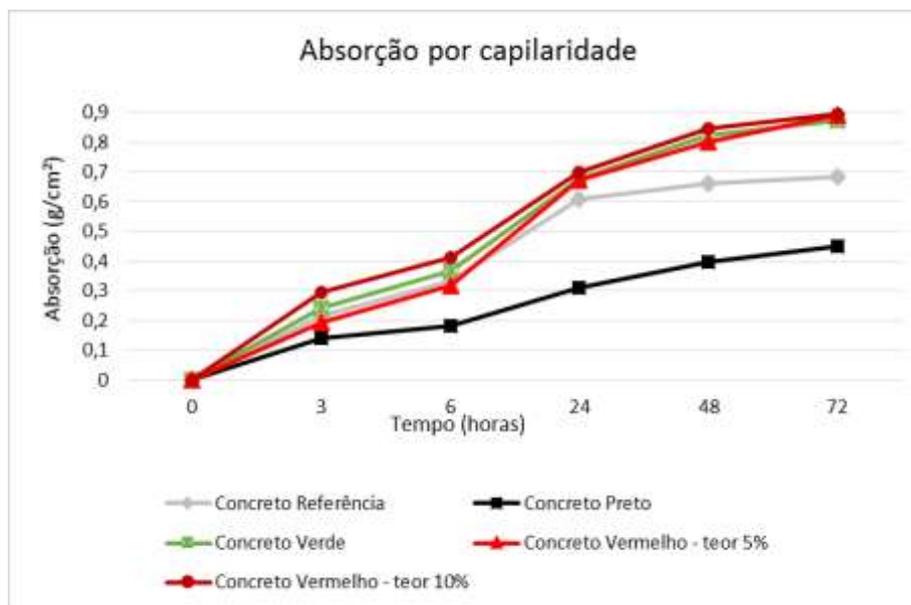
253 4.2 Absorção de água por capilaridade

254 Os resultados obtidos para o ensaio de absorção por capilaridade dos concretos estão
 255 apresentados na Tabela 11.

256 Tabela 11: Resultados obtidos de absorção por capilaridade.

Tipo de concreto	Teor de pigmento	Absorção por capilaridade (g/cm ²)					
		0 horas	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas
Referência	0%	0	0,22	0,33	0,61	0,66	0,68
Preto	10%	0	0,14	0,18	0,31	0,4	0,45
Verde	10%	0	0,24	0,37	0,68	0,82	0,87
Vermelho	5%	0	0,19	0,32	0,67	0,8	0,89
	10%	0	0,3	0,41	0,7	0,85	0,9

257 Para melhor visualização, os resultados obtidos foram plotados em gráficos, conforme a Figura 3
 258 a seguir.



259
 260 Figura 3: Gráfico dos resultados de absorção por capilaridade.

261 Quanto menor a taxa de absorção de água do concreto, maior será sua resistência quanto à
 262 entrada de agentes externos do meio ambiente que podem prejudicar a durabilidade do concreto. A

263 menor taxa de absorção foi observada no concreto de pigmento preto. Já comparando os concretos
264 de pigmento vermelho, aquele com teor 5% apresentou menor taxa de absorção.

265 4.3 Absorção de água por imersão

266 Com a realização do ensaio de absorção por imersão, foram obtidos os valores de índice de
267 vazios, massa específica e absorção d'água para os concretos utilizados. Tais valores estão reunidos
268 na Tabela 12.

269

270 Tabela 12: Resultados obtidos dos teores de absorção de água, massa específica e índice de vazios dos concretos
271 estudados.

Tipo de Concreto	Referência	Preto	Verde	Vermelho	
Teor de pigmento	0%	10%	10%	5%	10%
Absorção (%)					
Após imersão em água	7,11	7,52	7,43	8,5	6,6
Após imersão em água e fervura	6,94	10,28	7,38	8,7	6,7
Massa específica (g/m³)					
Real	2,58	2,4	2,57	2,5	2,6
Seca	2,19	1,97	2,16	2,1	2,2
Após saturação	2,34	2,11	2,32	2,2	2,4
Após saturação e fervura	2,34	2,15	2,32	2,2	2,4
Índice de vazios (%)					
Após saturação	15,53	15,22	15,92	18	15
Após saturação e fervura	15,27	18,97	15,87	18	15

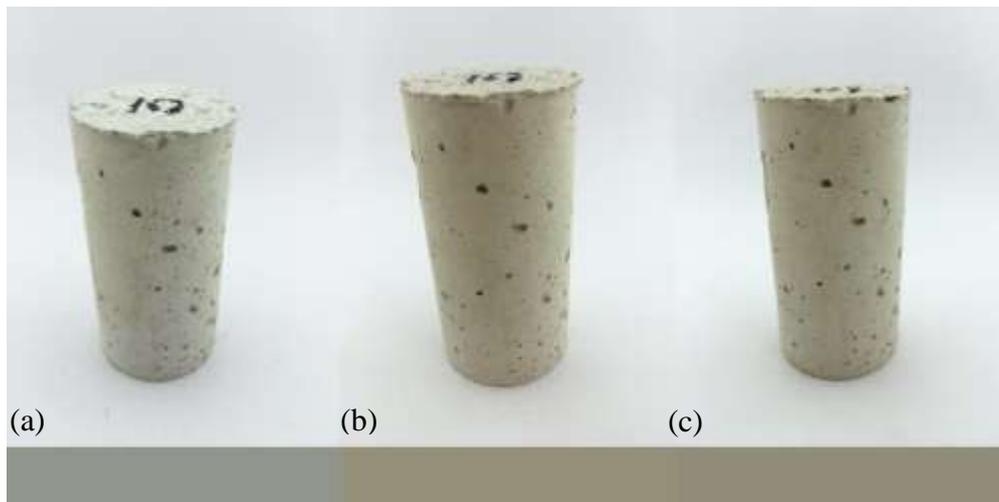
272 O teor de absorção de água ideal do concreto dependerá da sua finalidade na obra, portanto, este
273 não costuma ser considerado um parâmetro de qualidade.

274 Observa-se que o índice de vazios foi semelhante entre os concretos analisados, sendo maior no
275 concreto com teor 5% de pigmento vermelho. O aumento no índice de vazios facilita a entrada de
276 materiais indesejáveis à estrutura, o que pode ser desfavorável ao concreto. Quanto aos resultados
277 obtidos de massa específica, a massa específica do concreto costuma ser em torno 2,50 g/cm³,
278 estando os valores encontrados de acordo com o esperado.

279 Estudos realizados por [21] também comprovaram a baixa variação da taxa de absorção de água
280 por imersão entre concretos pigmentados e o concreto referência, ambos apresentando poucos poros
281 e vazios em sua estrutura.

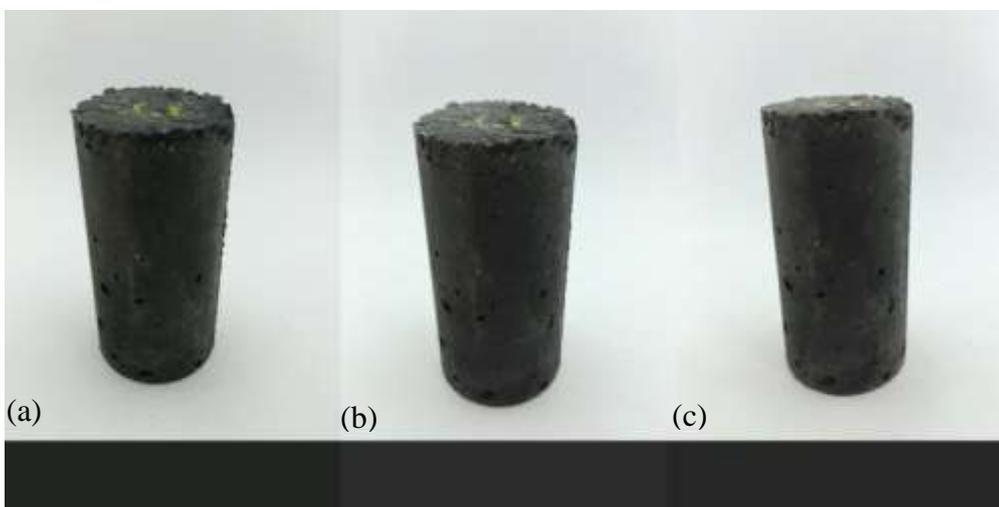
282 4.4 Análise colorimétrica

283 As imagens obtidas ao longo dos ciclos de molhagem e secagem, para análise quanto à
284 durabilidade dos corpos-de-prova, estão disponíveis nas Figuras 4 a 8.



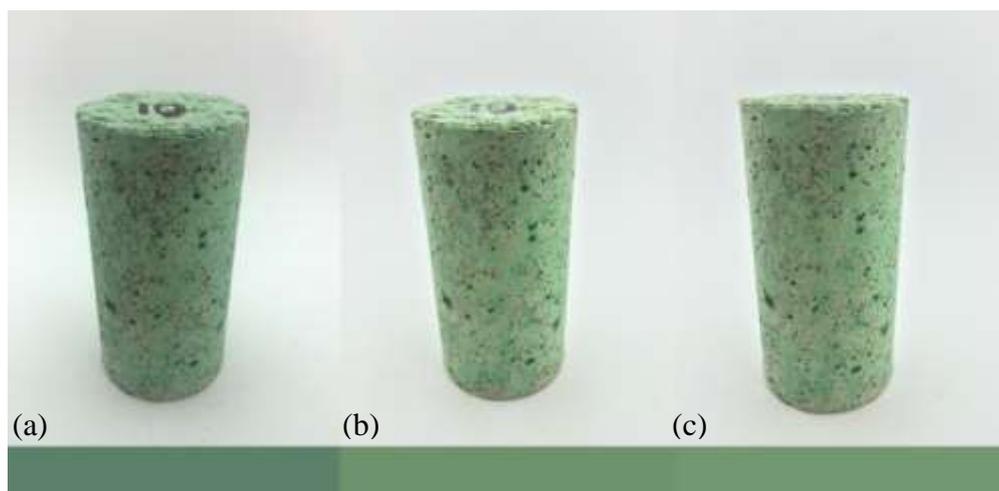
285
286
287

Figura 4: Análise colorimétrica do concreto referência, sem adição de pigmento: (a) 0 ciclos, (b) 5 ciclos, (c) 10 ciclos.



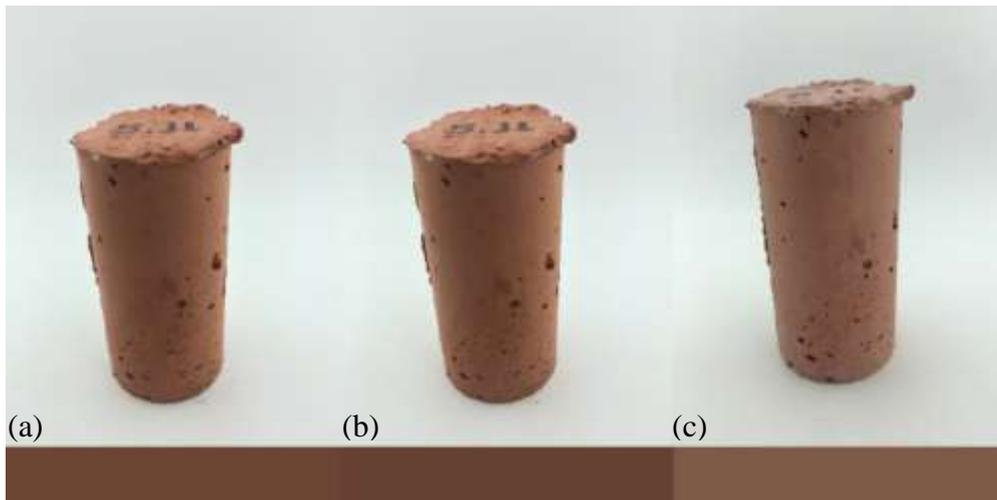
288
289
290

Figura 5: Análise colorimétrica do concreto preto: (a) 0 ciclos, (b) 5 ciclos, (c) 10 ciclos.



291
292

Figura 6: Análise colorimétrica do concreto verde: (a) 0 ciclos, (b) 5 ciclos, (c) 10 ciclos.

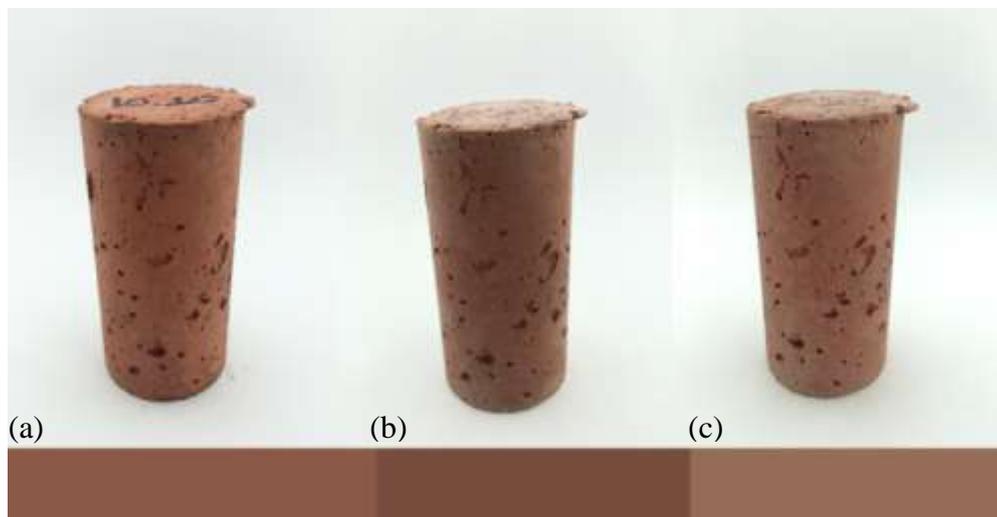


293

294

Figura 7: Análise colorimétrica do concreto com 5% de pigmento vermelho: (a) 0 ciclos, (b) 5 ciclos, (c) 10 ciclos.

295



296

297

Figura 8: Análise colorimétrica do concreto com 10% de pigmento vermelho: (a) 0 ciclos, (b) 5 ciclos, (c) 10 ciclos.

298

299 A partir da análise realizada dos registros fotográficos obtidos dos corpos-de-prova ao longo do
300 processo acelerado por ciclos de molhagem e secagem, nota-se que o concreto referência apresentou
301 uma aparência mais escura ao longo do tempo, enquanto os concretos com adição de pigmento
302 foram perdendo sua tonalidade ao longo do processo de realização dos ensaios.

303 Deve-se levar em conta que, mesmo buscando as mesmas condições de ambiente para as
304 diversas fotografias captadas, o resultado pode sofrer influência da luz presente no local. A olho nu,
305 a mudança da tonalidade dos concretos pôde ser observada com pequena significância.

306 Estudos realizados por [19] relatam que o concreto pigmentado apresenta boa estabilidade de cor
307 sob condições de exposição controlada, enquanto as repetições das mesmas amostras expostas a um
308 ambiente industrial ou marinho apresentaram variações significativas de cor. Dessa forma, nota-se
309 que a estabilidade da cor apresentada pelo concreto colorido depende fortemente das condições de
310 exposição.

311 A fim de analisar o efeito dos ciclos de molhagem e secagem nas propriedades do concreto,
312 também foram obtidos os valores de resistência à compressão dos corpos-de-prova ao fim dos
313 ciclos. Os resultados estão dispostos na Tabela 13.

314

315 Tabela 13: Resistência à compressão média antes dos ciclos de molhagem e secagem, aos 14 dias de idade, e
316 resistência à compressão individual e média após a realização dos mesmos.

Tipo de concreto	Teor de pigmento	Resistência antes dos ciclos (MPa)	Resistência média após os ciclos (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Referência	0%	15,1	26,62	6,57	24,68
Preto	10%	15,04	13,06	0,82	6,28
Verde	10%	18,18	25,08	5,66	22,57
	5%	17,57	25,72	2,34	9,10
Vermelho	10%	22,63	34,87	3,48	9,98

317 Ao comparar as resistências à compressão dos concretos analisados antes da realização dos
318 ciclos, aos 14 dias de cura, e após os ciclos, nota-se que, com exceção do concreto pigmentado na
319 cor preta, os ciclos de molhagem e secagem não afetaram a resistência à compressão dos concretos
320 observados, visto que os resultados aumentaram mesmo com a realização do ensaio.

321 5 CONCLUSÕES

322 A partir da realização do programa experimental proposto nesse trabalho, foi possível analisar os
323 resultados obtidos, alcançando as seguintes conclusões:

- 324 • No geral, a adição de pigmento aos concretos não resultou em diferenças significativas
325 quanto à resistência à compressão, quando comparado ao concreto sem adição de pigmento.
- 326 • Considerando até a idade de 28 dias de cura, o aumento do teor de pigmento apresentou um
327 incremento na resistência à compressão. O concreto com adição de 5% de pigmento
328 vermelho apresentou resistência à compressão inferior ao concreto com 10% de adição de
329 pigmento vermelho.
- 330 • A resistência à compressão apresentou um acréscimo com o aumento da idade de cura em
331 todos os concretos analisados, devido à hidratação do cimento.

- 332 • O teor de pigmento adotado não teve influência significativa sobre os valores de absorção
333 por capilaridade.
- 334 • O tipo de pigmento utilizado influencia a absorção de água por capilaridade, ao relacionar o
335 pigmento preto aos pigmentos verde e vermelho. O concreto com adição de pigmento preto
336 apresentou menor teor de absorção, enquanto os demais concretos analisados apresentaram
337 curvas de comportamento muito semelhantes.
- 338 • Com relação à taxa de absorção dos concretos analisados, não houve variação significativa
339 entre os valores obtidos. O concreto sem adição de pigmento apresentou, no geral, menor
340 teor de absorção em relação aos demais, com exceção do concreto com 10% de pigmento
341 vermelho.
- 342 • Como esperado, quanto maior a quantidade (teor) de pigmento, mais escura e mais próxima
343 da cor original do próprio pigmento passou a ser a cor do concreto, podendo observar essa
344 mudança de tonalidade a olho nú.
- 345 • Ao longo de um processo acelerado por ciclos de molhagem e secagem, o concreto
346 referência passa a apresentar uma aparência mais escura, enquanto os concretos com adição
347 de pigmento apresentam certa perda de tonalidade de suas cores.
- 348 • Visualmente, é possível notar uma pequena alteração nas tonalidades dos concretos
349 coloridos ao longo da realização de ciclos de molhagem e secagem. No entanto, essa
350 mudança não é de significância suficiente para afetar o aspecto estético dos concretos
351 analisados.
- 352 • No geral, os ciclos de molhagem e secagem não afetam a hidratação do cimento, visto que a
353 resistência à compressão dos concretos analisados continuou aumentando com a realização
354 do ensaio. No entanto, o concreto pigmento preto foi uma exceção, onde a resistência à
355 compressão alcançada após o processo acelerado de análise de durabilidade foi inferior aos
356 valores de resistência à compressão obtida aos 28 dias de cura do mesmo.

357 Dessa forma, o presente trabalho permitiu maior conhecimento acerca das propriedades físico-
358 mecânicas e de durabilidade do concreto colorido, material que ainda é pouco estudado.

359 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 360 [1] C. A. Aguiar. *Concreto de cimento Portland branco estrutural: análise da adição de pigmentos*
361 *quanto à resistência a compressão*. 2006. 88p. Dissertação (Mestrado profissional em
362 Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto
363 Alegre, 2006.
- 364 [2] R. Alencar, S. Bastos e D. Hendges. A influência da adição de pigmentos na resistência à
365 compressão e durabilidade de concretos com cimento branco e cinza. In: Congresso Brasileiro
366 do Concreto, 47º, Recife, 2005. *Anais...* São Paulo: Instituto Brasileiro de Concreto, 2005.
- 367 [3] Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT). *NBR 5739: Concreto – ensaio de*
368 *compressão de corpos-de-prova cilíndrico*. Rio de Janeiro, 2007.
- 369 [4] Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT). *NBR 7222: Argamassa e concreto –*
370 *Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova*
371 *cilíndricos*. Rio de Janeiro, 1994.
- 372 [5] Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT). *NBR 9778: Argamassa e concreto*
373 *endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa*
374 *específica*. Rio de Janeiro, 2005.
- 375 [6] Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT). *NBR 9779: Argamassa e concreto*
376 *endurecidos – Determinação da absorção por capilaridade*. Rio de Janeiro, 2012.

- 377 [7] BASF - The Chemical Company. *Glenium 51*. AECWEB, 2017. Disponível em:
378 <<https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/basf/GLENIUM%2051.pdf>>. Acesso em: 10 de
379 agosto 2017.
- 380 [8] G. Büchner. Pigments in concrete production. *Betonwerk und Fertigteil-Technik*, 1991, vol. 57,
381 n.8, p. 54-61.
- 382 [9] F. C. A. Coelho. *Variación del color y textura de hormigones vistos com adición de pigmentos*
383 *inorgánicos, sometidos a distintos estados de exposición ambiental*. Tese (Doutorado em
384 Ingeniero de Caminos Canales y Puertos). Universidad Politécnica de Madrid, U. P. MADRID.
385 Espanha. 2001.
- 386 [10] A. C. Costa e A.E.P. Guimarães. *Propriedades mecânicas do concreto colorido de alta*
387 *resistência*. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 46º, Florianópolis, 2004. Anais... São Paulo:
388 Instituto Brasileiro do Concreto, 2004.
- 389 [11] J.M. Fernández-Rodríguez e J. A. Fernández- Fernández. *Application of the second*
390 *derivative of the KubelkaeMunk function to the semiquantitative analysis of Roman paintings*.
391 *Color Res Appl*, 2005; 30(6):448-56.
- 392 [12] J.P. Gonçalves. *Utilização do resíduo de corte de granite (RCG) como adição para*
393 *produção de concretos*. 2000, 120p. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em
394 Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- 395 [13] H. A. Heinemann. Colour alterations of historic concrete surfaces during the Dutch Interwar
396 Period. *Case Studies in Construction Materials*, v. 7, p. 207-216, 2017.
- 397 [14] D. Hendges. *Resistência à compressão, custo e coloração de concretos produzidos com*
398 *pigmentos e cimentos Portland cinza e branco*. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 46º,
399 Florianópolis, 2004. Anais... São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2004.
- 400 [15] LANXESS. *Download FISPQ Pó Xadrez*. TBR Adesivos e Selantes, 2017. Disponível em:
401 <<http://tbr.ind.br/download-fispq-po-xadrez/>>. Acesso em: 10 de agosto 2017.
- 402 [16] H. S. Lee, J. Y. Lee e M. Y. Yu. *Influence of inorganic pigments on the fluidity of cement*
403 *mortars*. *Cement and Concrete Research*, v. 35, p. 703-710, 2005.
- 404 [17] H. S. Lee, J. Y. Lee e M. Y. Yu. *Influence of iron oxide pigments on the properties of*
405 *concrete interlocking blocks*. *Cement and Concrete Research*, v.33, p. 1889-1896, 2003.
- 406 [18] Leroy Merlin. *Cimento CPB-40 Branco Estrutural 15kg Axton*. Leroy Merlin, 2017.
407 Disponível em:<[https://www.leroymerlin.com.br/cimento-cpb-40-branco-estrutural-15kg-](https://www.leroymerlin.com.br/cimento-cpb-40-branco-estrutural-15kg-axton_89388572)
408 [axton_89388572](https://www.leroymerlin.com.br/cimento-cpb-40-branco-estrutural-15kg-axton_89388572)>. Acesso em: 10 de agosto 2017.
- 409 [19] A. López, G. A. Guzmán e A. R. Di Sarli. *Color stability in mortars and concretes*. Part 2:
410 Study on architectural concretes. *Construction and Building Materials*, v. 123, p. 248-253, 2016.
- 411 [20] L. S. Mendes. *Concreto colorido de alto desempenho*. 2016. 11p. Iniciação científica,
412 Faculdade de Engenharia de Sorocaba, 16º Congresso Nacional de Iniciação Científica
413 (CONIC-SEMESP), São Paulo, 2016.
- 414 [21] A. C. S. de Mendonça et al. *Avaliação da eficiência do uso do concreto colorido aplicado*
415 *em paredes*. *InterScientia*. Vol. 6, nº 1, 2018.
- 416 [22] Z. Piovesan. *Estudo sobre a influência da adição de pigmentos em propriedades de*
417 *durabilidade e na cromacidade do concreto de cimento Portland branco*. 2009. 155p.
418 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal do
419 Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.
- 420 [23] A. Santos. *Fachas de cimento colorido propagam-se pelo mundo*. Cimento Itambé, 2015.
421 Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/fachadas-de-concreto-colorido/>>. Acesso
422 em: 04 de julho 2017.
- 423 [24] J. V. Valença e S. Prizskulnik. *Concreto colorido: Influência da adição de pigmentos e suas*
424 *aplicações*. In: XIII Jornada de Iniciação Científica e VII Mostra de Iniciação Tecnológica.
425 *Anais...* São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2017.