

## **INFLUÊNCIA DO TEOR DE PIGMENTOS INORGÂNICOS NAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS E DE DURABILIDADE DE CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND BRANCO**

**Gabriela A. Di Sessa e Andrielli M. de Oliveira\***

*LABITECC, PPG-GECON, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 74.605-220, GO, Brasil*

**Palavras-chave:** Concreto Colorido, Pigmentos, Pigmentos Inorgânicos, Teores de Pigmento, Durabilidade.

**Resumo.** O concreto pigmentado é um componente arquitetônico interessante devido a sua versatilidade. No entanto, esse concreto colorido pode possuir limitações, como a redução de cor quando exposto a intempéries. Desta forma, este trabalho apresenta a influência do teor de pigmento em diferentes propriedades do concreto. Para tanto, foram produzidos concretos utilizando três tonalidades distintas de pigmentos inorgânicos nas cores verde, vermelho e preto nos teores de 10 %, em relação à massa de cimento Portland. Especificamente em uma das cores de pigmento (vermelho) utilizada nos concretos, foi avaliado o seu teor (0 %, 5 % e 10 %). Testes de resistência à compressão e absorção de água foram realizados. Também foram observadas mudanças nas características colorimétricas superficiais dos concretos pigmentados por meio de ciclos de molhagem e secagem. Como resultado, a adição de pigmento aos concretos não resultou em diferenças significativas quanto à resistência à compressão, quando comparado ao concreto sem adição de pigmento (concreto referência). O teor e a cor dos pigmentos adotados não tiveram influência significativa sobre as absorções analisadas. Ao longo do envelhecimento acelerado por ciclos de molhagem e secagem, o concreto referência passou a apresentar uma aparência mais escura, enquanto os concretos com adição de pigmento apresentaram certa perda de tonalidade de suas cores.

---

Endereços de e-mail: [gabrieladisessa@gmail.com](mailto:gabrieladisessa@gmail.com), [andriellimorais@yahoo.com.br](mailto:andriellimorais@yahoo.com.br)\*

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

**Keywords:** Colored Concrete, Pigments, Inorganic Pigments, Pigment Contents, Durability.

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

## 1 INTRODUÇÃO

Os pigmentos utilizados no concreto cromático podem ter origem natural (mineral), como hematita (avermelhada, laranja, roxa e marrom), a goethite (amarelo), a lepidocrocite (marrom), a calcita (branco), a dolomite (branco), a celadonita (verde), a malaquita (verde) e o quartzo (translúcido e branco) e outros pigmentos podem ser produzidos por síntese em laboratório, como litharge (avermelhado), massicot (amarelo), chumbo vermelho (laranja), Óxido de cromo (verde), preto de carvão e azul egípcio [21].

Podem-se destacar exemplos do uso de concreto cromático em diversos lugares, como Suécia, Emirados Árabes Unidos, Portugal e Brasil, como apresentado na Figura 1 [22].



Figura 1: Exemplos de aplicações de concreto cromático: (a) estrutura em concreto armado e protendido na cor marrom avermelhada do plano de sustentação do sistema ferroviário da nova Ponte Årsta em Estocolmo-Suécia; (b) estrutura e fachada do Hotel Emirates Palace em Abu Dhabi; (c) casa das histórias Paula Rego em Cascais-Portugal e (d) Praça das Artes, em São Paulo-Brasil [22]

O concreto colorido foi inicialmente produzido na Inglaterra, no ano de 1920 e utilizado na produção de peças pré-moldadas [1], atualmente também é utilizado na produção de artefatos de cimento e pisos de concreto [16, 20].

Um fator positivo acerca do concreto pigmentado diz respeito ao seu diferencial estético e arquitetônico [19]. No entanto, seu custo final ainda é um ponto negativo, levando-se em consideração o custo dos pigmentos encontrados no mercado.

Segundo [20], para que o concreto colorido seja inserido no mercado de forma mais ampla e confiável, é importante conhecer sua resistência e durabilidade, podendo assim evitar a manifestação de patologias. O autor do trabalho ressalta ainda que apesar da variabilidade de estudos relacionados aos concretos com cimento cinza, ainda há uma necessidade de avaliar as propriedades dos concretos pigmentados e, sobretudo, sobre os efeitos da pigmentação e da interação entre os materiais constituintes.

É de conhecimento, no meio técnico científico, que pigmentos podem apresentar poder de pigmentação diferente, o que significa que a mesma quantidade de dois pigmentos diferentes pode produzir uma intensidade de cor diferente. A literatura relata ainda a preocupação de obter-se concretos com cores permanentes sem produzir efeitos muito adversos no estado fresco e no estado endurecido de materiais cimentícios [16].

Em relação às propriedades no estado fresco e endurecido de concretos, a literatura relata redução de trabalhabilidade com a adição de pigmentos [10, 17]. Para alguns autores, a resistência à compressão pode ser reduzida [11, 14], para outros, não há alteração [10, 9] e ainda, para um terceiro grupo, a resistência registra acréscimo [13]. A durabilidade, segundo a literatura [2, 10, 18], pode variar e ser função da cor do pigmento.

Estudos realizados por [23] afirmam que a adição de pigmentos de óxido de ferro pode aumentar em cerca de 50 % a resistência à compressão do concreto colorido em relação ao

concreto não pigmentado. Já [12] relata que o uso de pigmento provoca uma leve diminuição da resistência à compressão do concreto. Parece haver uma dependência do tipo e cor do pigmento.

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

## 2 OBJETIVOS

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

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

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Materiais utilizados

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

#### 3.1.1 Cimento

Para a produção do concreto colorido, utilizou-se cimento branco estrutural do tipo Portland 40 (CPB40) *Axton*, Suas características físicas estão dispostas na Tabela 1 [7].

Tabela 1: Características físicas do cimento utilizado [7]

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

#### 3.1.2 Agregados

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

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

Tabela 2: Características físicas do agregado graúdo

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da peneira ABNT (mm)	Porcentagem retida Individual    Acumulada	
Composição granulométrica	NM 248	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 <sup>3</sup>		
Massa unitária	NM 45	1470,33 kg/m <sup>3</sup>		

Tabela 3: Características física do agregado graúdo

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da peneira ABNT (mm)	Porcentagem retida Individual    Acumulada	
Composição granulométrica	NM 248	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 <sup>3</sup>		
Massa unitária	NM 45	1465,48 kg/m <sup>3</sup>		

### 3.1.3 Fíler

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

Tabela 4: Características física do fíler

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	NBR 9776	2746 kg/m <sup>3</sup>		
Massa unitária	NM 45	1434,74 kg/m <sup>3</sup>		

### 3.1.4 Pigmentos

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

De acordo com o fabricante Lanxess, esses materiais não apresentam efeitos tóxicos. Suas características físicas foram disponibilizadas pelo próprio fabricante (Tabela 5 [15]).

Tabela 5: Características físico-química dos pigmentos utilizados [15]

Propriedades físico-químicas	Pigmento		
	Verde	Vermelho	Preto
Estado físico	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 <sup>3</sup>
Densidade aparente	Não disponível	0,7 a 1,1 kg/m <sup>3</sup>	0,8 a 1 kg/m <sup>3</sup>
Solubilidade	Insolúvel em água fria		

### 3.1.5 Aditivo superplastificante

Usou-se um aditivo super plastificante de base éter poli carboxílico modificado, fornecido pelo fabricante BASF. Os dados técnicos do aditivo utilizado estão disponíveis na Tabela 6 [8].

Tabela 6: Dados técnicos do aditivo super plastificante utilizado [8]

Base química	Éter policarboxílico
Aspecto	Líquido
Cor	Branco turvo
pH	5,85
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,065
Sólidos (%)	30,01
Viscosidade (cps)	< 150

### 3.1.6 Água

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

## 3.2 Ensaios Realizados

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

Foram testados à compressão simples corpos de prova cilíndricos de 5 x 10 cm nas idades de 7, 14 e 28 dias. A cada idade de ruptura foram ensaiados quatro corpos de prova, totalizando doze corpos de prova para cada mistura de concreto colorida analisada.

A execução do ensaio para determinação da absorção de água por capilaridade do concreto produzido seguiu as recomendações da norma brasileira ABNT NBR 9779:2012 [6]. Para este ensaio, foram moldados 3 corpos de prova cilíndricos de 5 x 10 cm para cada combinação da matriz experimental, foram desmoldados após 24 horas e permaneceram em câmara úmida até a idade de 28 dias. Conforme descrito na norma, a absorção foi monitorada por 72 horas, sendo realizadas pesagens das amostras em intervalos de tempo de 3, 6, 24, 48 e 72 horas. Para o registro da massa, os corpos-de-prova foram retirados da água e secos superficialmente com pano úmido, para que fosse retirado o excesso de água. Por fim, os corpos de prova foram rompidos por compressão diametral, de acordo com a norma ABNT NBR 7222:1994 [3].

A absorção de água por imersão foi determinada a partir da norma ABNT NBR 9778:2005 [4]. Para a realização deste ensaio, foram utilizados 3 corpos-de-prova de cada mistura de concreto produzido, os quais permaneceram em câmara úmida até a idade de 28 dias. Após esse período, os corpos-de-prova permaneceram 72 horas em estufa e em seguida permaneceram imersos em água por mais 72 horas, tendo sua massa determinada a cada 24 horas, conforme recomendado pela norma. Por fim, as amostras passaram por processo de fervura e foram novamente pesadas após seu resfriamento.

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

Os corpos de prova que passaram por ciclos de molhagem e secagem tiveram sua coloração

analisada ao início, ao meio (5 ciclos) e ao fim do período (10 ciclos) em que passaram pelos ciclos de molhagem e secagem, por meio do software *Adobe Photoshop CC*. Para que fosse possível analisar a cor do corpo de prova em diferentes ciclos, foi considerado um mesmo ponto de cada corpo de prova e obtidas suas cores nos ciclos determinados a partir de uma mesma câmera fotográfica, buscando a mesma distância focal, com o ambiente definido como uma caixa de luz utilizada propriamente em estúdios fotográficos. A efeito de comparação, as cores obtidas nos ciclos analisados foram colocadas lado a lado, a fim de concluir como tal processo acelerado pode afetar a durabilidade da cor do concreto colorido.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Resistência à compressão axial

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

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	0,80	3,58
Preto	0 %	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	0 %	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	0 %	7 dias	14,28	0,23	1,58
		14 dias	18,18	1,05	5,80
		28 dias	19,80	2,76	13,95

Conforme indicado pela norma ABNT NBR 5739:2007 [5], o coeficiente de variação superior a 6 indica um nível deficiente de avaliação do ensaio. Foi observado que alguns dos resultados obtidos alcançaram tal nível. Para melhor visualização dos resultados obtidos, a Figura 2 traz os resultados dispostos anteriormente em forma de gráfico.

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

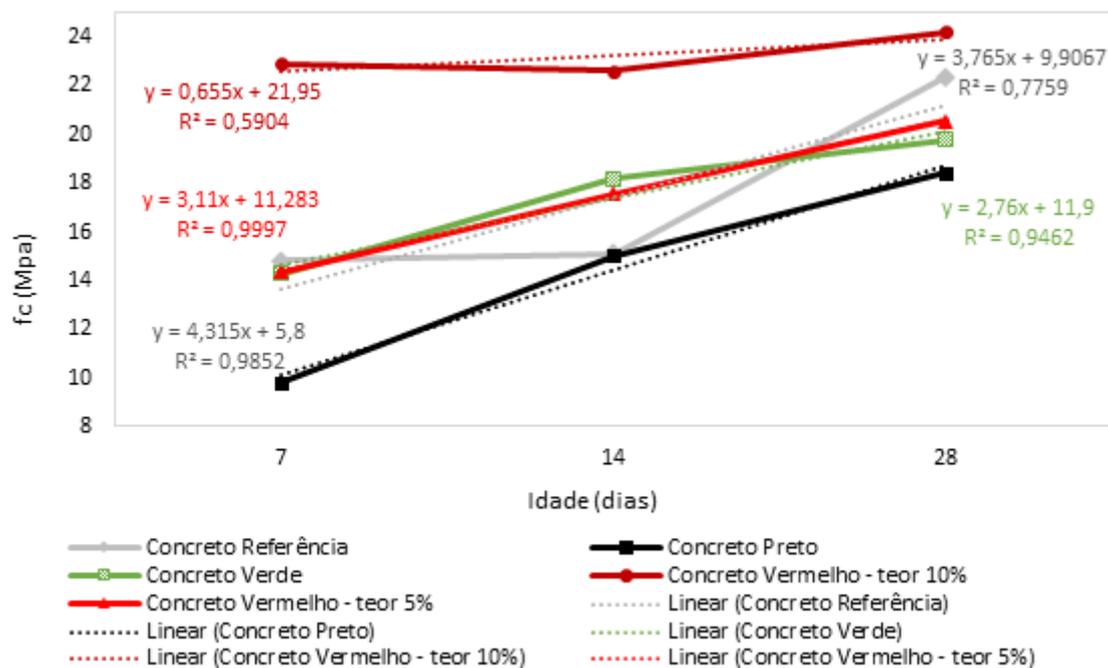


Figura 2: Gráfico dos resultados de resistência à compressão dos concretos

#### 4.2 Análise Estatística dos Dados

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

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

Primeiramente, foi analisada estatisticamente a significância entre os valores obtidos de resistência à compressão aos 28 dias do concreto referência (sem adição de pigmentos) e dos concretos analisados com teor 10 % de pigmentos. O resultado dessa análise está indicado na Tabela 8, admitindo-se:  $SQ$  = Soma dos quadrados;  $GL$  = Graus de liberdade;  $MQ$  = média dos quadrados;  $F$  = parâmetro de Fischer para o teste de significância dos efeitos;  $p$  = Nível probabilístico de significância; e resultado = resultado da análise, com indicação se o efeito é significativo ou não.

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

Contudo, ao analisar estatisticamente a influência do teor de pigmento no concreto em rela-

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

Efeito	$SQ$	$GL$	$MQ$	$F_{\text{calculado}}$	$p$	$F_{\text{crítico}}$	Resultado
Modelo	60,4315	3	20,1438	4,7021	0,0355	4,0662	Significativo
Erro (resíduo)	34,2718	8	4,2840	–	–	–	–
Total	94,7033	11	–	–	–	–	–

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

Efeito	$SQ$	$GL$	$MQ$	$F_{\text{calculado}}$	$p$	$F_{\text{crítico}}$	Resultado
Modelo	55,0259	2	27,5129	5,0043	0,0527	5,1433	Não significativo
Erro (resíduo)	32,9869	6	5,4978	–	–	–	–
Total	88,0128	8	–	–	–	–	–

ção aos valores obtidos de resistência à compressão aos 28 dias, considerando teores de 0 %, 5 % e 10 % de pigmento vermelho, notou-se uma diferença significativa entre os resultados, ou seja,  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}}$ , como pode ser observado na Tabela 10.

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

Efeito	$SQ$	$GL$	$MQ$	$F_{\text{calculado}}$	$p$	$F_{\text{crítico}}$	Resultado
Modelo	20,0221	2	10,0110	6,8324	0,0284	5,1432	Significativo
Erro (resíduo)	8,7913	6	1,4652	–	–	–	–
Total	28,8134	8	–	–	–	–	–

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

### 4.3 Absorção de água por capilaridade

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

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

Quanto menor a taxa de absorção de água do concreto, maior será sua resistência quanto à entrada de agentes externos do meio ambiente que podem prejudicar a durabilidade do concreto. A menor taxa de absorção foi observada no concreto de pigmento preto. Já comparando os concretos de pigmento vermelho, aquele com teor 5 % apresentou menor taxa de absorção.

### 4.4 Absorção de água por imersão

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

Tabela 11: Resultados obtidos de absorção por capilaridade

Tipo de concreto	Teor de pigmento	Absorção por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )					
		0 h	3 h	6 h	24 h	48 h	72 h
Referência	0 %	0	0,22	0,33	0,61	0,66	0,68
Preto	10 %	0	0,14	0,18	0,31	0,40	0,45
Verde	10 %	0	0,24	0,37	0,68	0,82	0,87
Vermelho	5 %	0	0,19	0,32	0,67	0,80	0,89
	10 %	0	0,30	0,41	0,70	0,85	0,90

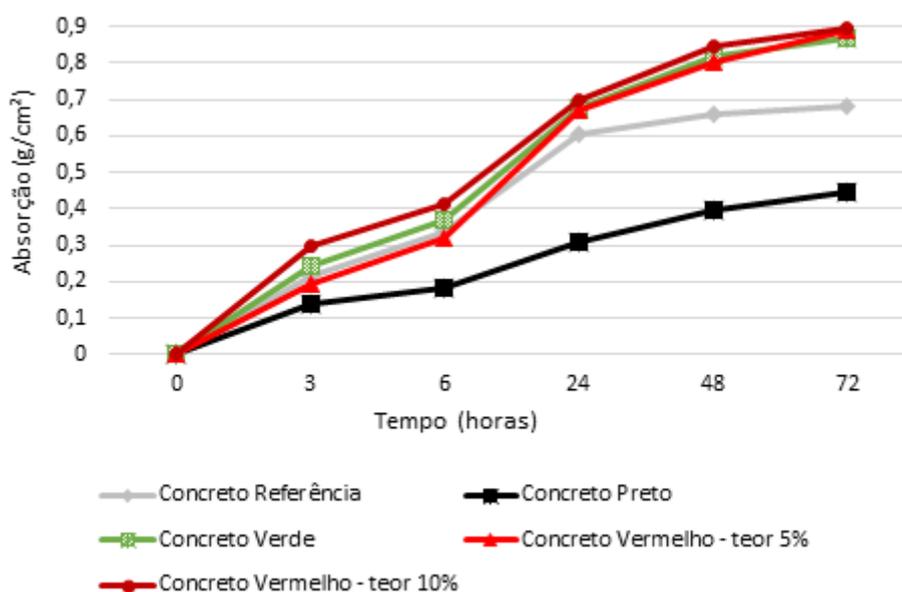


Figura 3: Gráfico dos resultados de absorção por capilaridade

reunidos na Tabela 12.

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

Observa-se que o índice de vazios foi semelhante entre os concretos analisados, sendo maior no concreto com teor 5 % de pigmento vermelho. O aumento no índice de vazios facilita a entrada de materiais indesejáveis à estrutura, o que pode ser desfavorável ao concreto. Quanto aos resultados obtidos de massa específica, a massa específica do concreto costuma ser em torno 2,50 g/cm<sup>3</sup>, estando os valores encontrados de acordo com o esperado.

Estudos realizados por [12] também comprovaram a baixa variação da taxa de absorção de água por imersão entre concretos pigmentados e o concreto referência, ambos apresentando poucos poros e vazios em sua estrutura.

#### 4.5 Análise colorimétrica

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

A partir da análise realizada dos registros fotográficos obtidos dos corpos-de-prova ao longo

Tabela 12: Resultados obtidos dos teores de absorção de água, massa específica e índice de vazios dos concretos 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/m <sup>3</sup> )	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

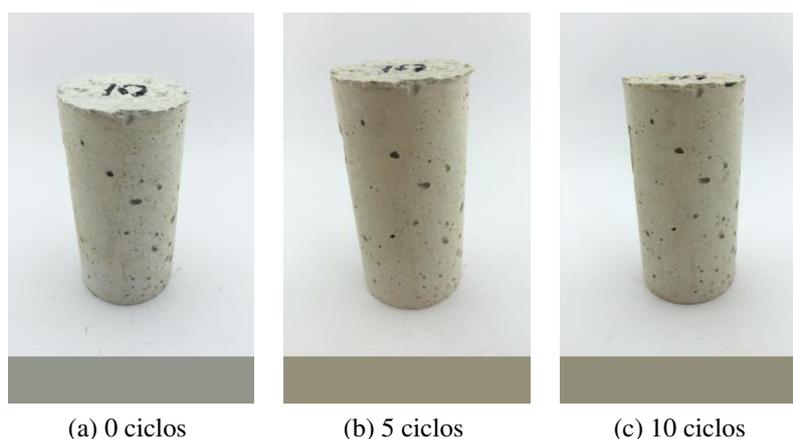


Figura 4: Análise colorimétrica do concreto referência, sem adição de pigmento

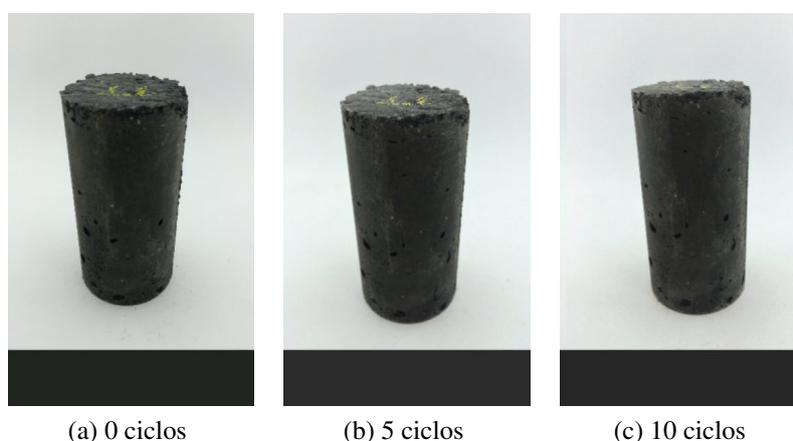


Figura 5: Análise colorimétrica do concreto preto

do processo acelerado por ciclos de molhagem e secagem, nota-se que o concreto referência apresentou uma aparência mais escura ao longo do tempo, enquanto os concretos com adição

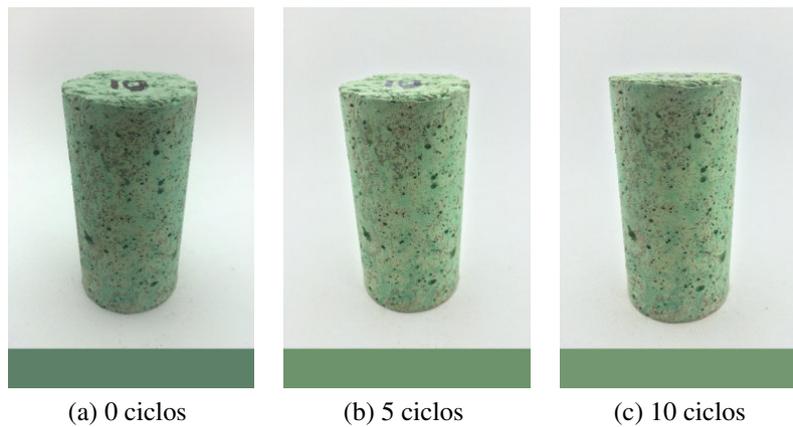


Figura 6: Análise colorimétrica do concreto verde

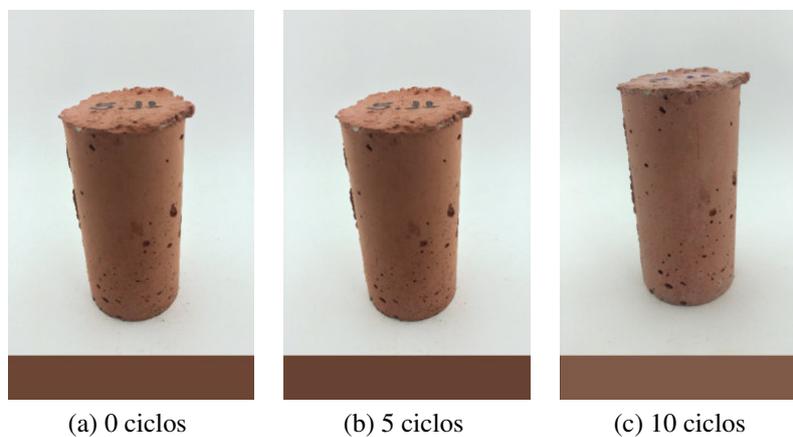


Figura 7: Análise colorimétrica do concreto com 5 % de pigmento vermelho

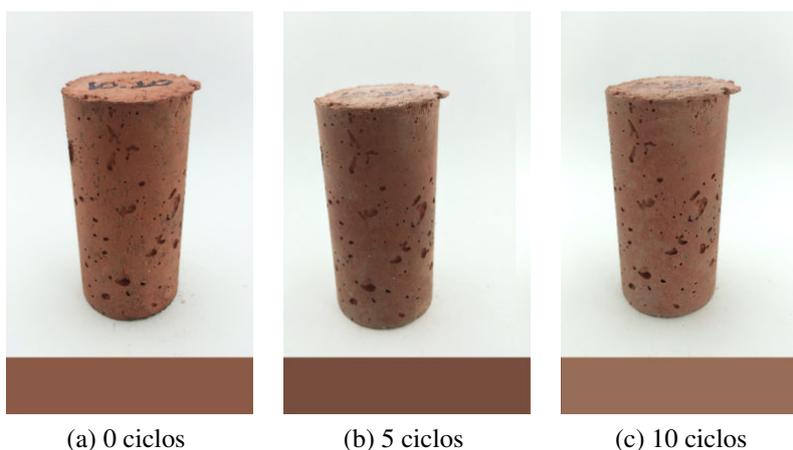


Figura 8: Análise colorimétrica do concreto com 10 % de pigmento vermelho

de pigmento foram perdendo sua tonalidade ao longo do processo de realização dos ensaios.

Deve-se levar em conta que, mesmo buscando as mesmas condições de ambiente para as diversas fotografias captadas, o resultado pode sofrer influência da luz presente no local. A

olho nu, a mudança da tonalidade dos concretos pôde ser observada com pequena significância.

Estudos realizados por [18] relatam que o concreto pigmentado apresenta boa estabilidade de cor sob condições de exposição controlada, enquanto as repetições das mesmas amostras expostas a um ambiente industrial ou marinho apresentaram variações significativas de cor. Dessa forma, nota-se que a estabilidade da cor apresentada pelo concreto colorido depende fortemente das condições de exposição.

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

Tabela 13: Resistência à compressão média antes dos ciclos de molhagem e secagem, aos 14 dias de idade, e 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
Vermelho	5 %	17,57	25,72	2,34	9,10
	10 %	22,63	34,87	3,48	9,98

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

## 5 CONCLUSÕES

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

- no geral, a adição de pigmento aos concretos não resultou em diferenças significativas quanto à resistência à compressão, quando comparado ao concreto sem adição de pigmento;
- considerando até a idade de 28 dias de cura, o aumento do teor de pigmento apresentou um incremento na resistência à compressão. O concreto com adição de 5 % de pigmento vermelho apresentou resistência à compressão inferior ao concreto com 10 % de adição de pigmento vermelho;
- a resistência à compressão apresentou um acréscimo com o aumento da idade de cura em todos os concretos analisados, devido à hidratação do cimento;
- o teor de pigmento adotado não exerceu influência significativa sobre os valores de absorção por capilaridade;
- o tipo de pigmento utilizado influencia a absorção de água por capilaridade, ao relacionar o pigmento preto aos pigmentos verde e vermelho. O concreto com adição de pigmento preto apresentou menor teor de absorção, enquanto os demais concretos analisados apresentaram curvas de comportamento muito semelhantes;
- com relação à taxa de absorção dos concretos analisados, não houve variação significativa entre os valores obtidos. O concreto sem adição de pigmento apresentou, no geral, menor

teor de absorção em relação aos demais, com exceção do concreto com 10 % de pigmento vermelho;

- como esperado, quanto maior a quantidade (teor) de pigmento, mais escura e mais próxima da cor original do próprio pigmento passou a ser a cor do concreto, podendo observar essa mudança de tonalidade a olho nu;
- ao longo de um processo acelerado por ciclos de molhagem e secagem, o concreto referência passou a apresentar uma aparência mais escura, enquanto os concretos com adição de pigmento apresentaram certa perda de tonalidade de suas cores;
- visualmente, é possível notar uma pequena alteração nas tonalidades dos concretos coloridos ao longo da realização de ciclos de molhagem e secagem. No entanto, essa mudança não foi de significância suficiente para afetar o aspecto estético dos concretos analisados;
- e
- no geral, os ciclos de molhagem e secagem não afetaram a hidratação do cimento, visto que a resistência à compressão dos concretos analisados continuou aumentando com a realização do ensaio. No entanto, o concreto com pigmento preto foi uma exceção, onde a resistência à compressão alcançada após o processo acelerado de análise de durabilidade foi inferior aos valores de resistência à compressão obtida aos 28 dias de cura do mesmo.

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

## REFERÊNCIAS

- [1] C. A. Aguiar. *Concreto de cimento Portland branco estrutural: análise da adição de pigmentos quanto à resistência a compressão*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, Brasil, 2006.
- [2] R. Alencar, S. Bastos e D. Hendges. A influência da adição de pigmentos na resistência à compressão e durabilidade de concretos com cimento branco e cinza. In *Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto, Recife - PE, Brasil*. Instituto Brasileiro do Concreto, 2005.
- [3] Associação Brasileira de Normas técnicas. *Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, 1994.
- [4] Associação Brasileira de Normas técnicas. *ABNT NBR 9779:2012 Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, 2005.
- [5] Associação Brasileira de Normas técnicas. *Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, 2007.
- [6] Associação Brasileira de Normas técnicas. *ABNT NBR 9779:2012 Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, 2012.
- [7] Axton. Cimento cpb-40 branco estrutural 15kg axton. Disponível em <[https://www.leroymerlin.com.br/cimento-cpb-40-branco-estrutural-15kg-axton\\_89388572](https://www.leroymerlin.com.br/cimento-cpb-40-branco-estrutural-15kg-axton_89388572)>. Acessado em agosto de 2017.
- [8] BASF. Glenium 51 - aditivo super plastificante de terceira geração. Disponível em <<https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/basf/GLENIUM%2051.pdf>>. Acessado em agosto de 2017.

- [9] G. Büchner. Pigments in concrete production. *Betonwerk und Fertigteil-Technik*, 57(8):54 – 61, 1991.
- [10] F. C. A. Coelho. *Variación del color y textura de hormigones vistos com adición de pigmentos inorgánicos, sometidos a distintos estados de exposición ambiental*. Tese de Doutorado, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Espanha, 2001.
- [11] A. C. Costa e A. E. P. Guimarães. Propriedades mecânicas do concreto colorido de alta resistência. In *Anais do 46º Congresso Brasileiro do Concreto, São Paulo - SP, Brasil*. Instituto Brasileiro do Concreto, 2004.
- [12] A. C. S. de Mendonça, R. A. S. da Rocha, R. S. Gomes, A. L. S. Gomes, P. C. de Assis Neto e S. H. A. Gurgel. Avaliação da eficiência do uso do concreto colorido aplicado em paredes. *InterScientia*, 6(1):147 – 171, 2018.
- [13] J. Gonçalves. *Utilização do resíduo de corte de granite (RCG) como adição para produção de concretos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, Brasil, 2000.
- [14] D. Hendges. Resistência à compressão, custo e coloração de concretos produzidos com pigmentos e cimentos portland cinza e branco. In *Anais do 46º Congresso Brasileiro do Concreto, São Paulo - SP, Brasil*. Instituto Brasileiro do Concreto, 2004.
- [15] Lanxess. Tbr adesivos e selantes - download fispq pó xadrez. Disponível em <<http://tbr.ind.br/download-fispq-po-xadrez/>>. Acessado em agosto de 2017.
- [16] H. S. Lee, J. Y. Lee e M. Y. Yu. Influence of iron oxide pigments on the properties of concrete interlocking blocks. *Cement and Concrete Research*, 33(11):1889 – 1896, 2003.
- [17] H. S. Lee, J. Y. Lee e M. Y. Yu. Influence of inorganic pigments on the fluidity of cement mortars. *Cement and Concrete Research*, 35(4):703 – 710, 2005.
- [18] A. López, G. A. Guzmán e A. R. D. Sarli. Color stability in mortars and concretes. part 2: Study on architectural concretes. *Construction and Building Materials*, 123:248 – 253, 2016.
- [19] L. S. Mendes. Concreto colorido de alto desempenho. In *Anais do 16º Congresso Nacional de Iniciação Científica (CONIC-SEMESP), São Paulo - SP, Brasil*. 2016.
- [20] Z. Piovesan. *Estudo sobre a influência da adição de pigmentos em propriedades de durabilidade e na cromacidade do concreto de cimento Portland branco*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, Brasil, 2009.
- [21] J. M. F. Rodríguez e J. A. F. Fernández. Application of the second derivative of the kubelka–munk function to the semiquantitative analysis of roman paintings. *Color Research & Application*, 30(6):448 – 456, 2005.
- [22] A. Santos. Fachadas de concreto colorido propagam-se pelo mundo. Disponível em <<https://www.cimentoitambe.com.br/fachadas-de-concreto-colorido/>>. Acessado em julho de 2017.
- [23] J. V. Valença e S. Prizskulnik. Concreto colorido: Influência da adição de pigmentos e suas aplicações. In *Anais da XIII Jornada de Iniciação Científica e VII Mostra de Iniciação Tecnológica*. Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2017.