

Concreto colorido: avaliação da tecnologia do concreto com a adição de pigmentos químicos

ROBERTO MUELLER BOHRER - T^{ÉC.} - (RobertoBohrer@feevale.br)

JULIANA A. DE L. S. NIEMCZEWSKI - PROF. - (juliananiemczews@feevale.br) – Universidade Feevale

RESUMO

O CONCRETO PIGMENTADO OFERECE UMA VARIEDADE DE CORES ALÉM DO CINZA TRADICIONAL, PERMITINDO PROJETOS MAIS ESPECÍFICOS. NESTE ARTIGO, FORAM PRODUZIDOS CONCRETOS COLORIDOS COM ÓXIDOS DE FERRO E CROMO, COM TEORES DE PIGMENTO DE 2%, 4% E 6% EM RELAÇÃO À MASSA DO CIMENTO. AS AMOSTRAS FORAM ANALISADAS QUANTO À RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, TRAÇÃO NA FLEXÃO, ABSORÇÃO DE ÁGUA, RESISTÊNCIA À RADIAÇÃO UV E COLORIMETRIA. OS RESULTADOS INDICARAM QUE OS PIGMENTOS DE ÓXIDO DE FERRO FORAM SATISFATÓRIOS EM TERMOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA, ABSORÇÃO DE ÁGUA E DURABILIDADE, ENQUANTO O PIGMENTO DE ÓXIDO DE CROMO TEVE IMPACTO NEGATIVO SIGNIFICATIVO NOS PARÂMETROS ANALISADOS.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO COLORIDO, PIGMENTOS, DOSAGEM, RESISTÊNCIA, COLORIMETRIA.

1. INTRODUÇÃO

O concreto pigmentado oferece versatilidade de cores, permitindo novas criações e valorizando estruturas, mantendo suas propriedades mecânicas e atendendo às demandas do mercado (Mendonça, 2018). Com o aumento da adoção do concreto aparente, há uma necessidade crescente de técnicas e materiais que garantam o efeito estético desejado, tornando a cor um aspecto crucial de qualidade e seu controle indispensável (Gonçalves *et al.*, 2018).

Em relação a critérios normativos, a norma ASMT C979/2016 apresenta especificações padrões para pigmentos em concreto. Entre os critérios, destaca-se o teor máximo de pigmento para o concreto sendo igual ou inferior a 10% da massa de cimento. Além disso, quando

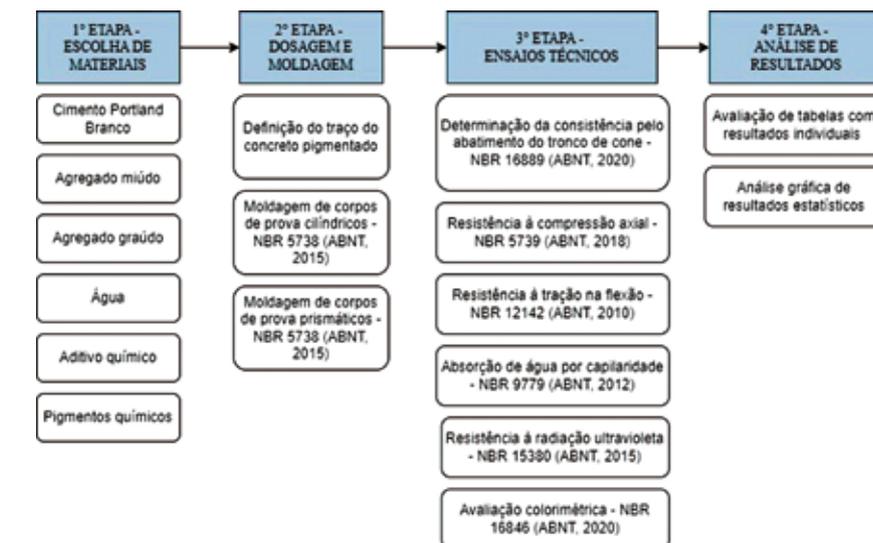


FIGURA 1

FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

comparado com a mistura referência, o concreto pigmentado deverá ter uma resistência à compressão, aos 28 dias, não inferior a 90% e uma relação água-cimento não superior a 110%.

Piovesan (2009) analisou concretos com pigmentos de óxido de ferro (vermelho) e óxido de cromo (verde), utilizando o traço 1:1,5:3 e relações a/c de 0,40, 0,55 e 0,70, além de teores de pigmento de 3%, 6% e 10%. A autora constatou que, para a resistência à compressão, a relação a/c de 0,40 e teores de 3% e 6% de óxido de ferro (vermelho) resultaram em maiores resistências, superando o concreto de referência. Para o óxido de cromo (verde), a relação a/c de 0,40 mostrou resistência à compressão equivalente ao concreto de referência. Na

absorção por capilaridade, os concretos pigmentados absorveram menos água.

Similarmente, Consani (2022) analisou concretos com relação a/c de 0,40 e pigmentos de hidróxido de ferro (amarelo), óxido de cobalto (azul) e óxido de cromo (verde), com teor fixo de 5% e traço de 1:2,37:2,57. A autora observou aumento na resistência à compressão aos 7 dias. Aos 28 dias, houve uma redução de cerca de 4 MPa nos concretos azul e verde, mas um ganho de 1 MPa no concreto amarelo em comparação ao concreto de referência. Os testes de absorção de água indicaram que os pigmentos não afetaram a permeabilidade e a porosidade.

Além disso, Consani (2022) realizou ensaios de envelhecimento da cor em

TABELA 1

MATERIAIS CONSTITUINTES

| Componente | Tipo | Propriedades | |
|------------------|----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| | | Massa específica (g/cm ³) | Massa unitária (g/cm ³) |
| Cimento Portland | Branco - 40 MPa | 3,05 | — |
| Agregado miúdo | Dmáx. = 4,75 mm; MF = 2,41 | 2,62 | 1,62 |
| Agregado graúdo | Dmáx. = 12,5 mm; MF = 6,26 | 2,84 | 1,58 |
| Aditivo químico | Redutor de água do tipo 2 | — | — |

Nota: DMÁX = DIÂMETRO MÁXIMO; MF = MÓDULO DE FINURA.

TABELA 2

CARACTERÍSTICAS DOS PIGMENTOS QUÍMICOS

| Componente | Cor | Estado físico | Massa específica (g/cm ³) |
|--------------------|----------|---------------|---------------------------------------|
| Óxido de ferro (A) | Vermelho | Sólido (Pó) | 5,20 |
| Óxido de ferro (B) | Amarelo | | 5,22 |
| Óxido de cromo (C) | Verde | | 5,23 |

concretos. Os resultados indicaram que tanto o concreto de referência quanto o com hidróxido de ferro não apresentaram mudanças perceptíveis até 900 horas na Câmara UV. No entanto, após 1200 horas, a alteração de cor torna-se visível, com desbotamento completo em 3000 horas, equivalente a 10 anos de exposição natural. O concreto com pigmento de óxido de cromo também apresentou alterações significativas, especialmente nas primeiras 400 horas de exposição.

Este artigo tem como objetivo analisar a influência das propriedades de concretos coloridos nos estados fresco e endurecido, produzidos com diferentes tipos de pigmentos químicos. Para esse propósito, foram realizadas verificações de consistência, ensaios de resistência à compressão e tração na flexão, exposições à luz ultravioleta em laboratório com medições e registros fotográficos, além de avaliações da absorção de água e análises colorimétricas das mudanças de tonalidade.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental iniciou pela caracterização dos materiais, com seguimento na moldagem de corpos de prova. Após isto, foram realizados ensaios de resistência à compressão axial (7 e 28 dias), ensaios de resistência à tração na flexão,

absorção de água e envelhecimento acelerado por radiação ultravioleta, aos 28 dias, além da análise colorimétrica.

Todos os procedimentos foram realizados nos Laboratórios de Técnicas Construtivas e de Estudos Avançados de Materiais da Universidade Feevale, conforme o planejamento experimental descrito no fluxograma da Figura 1.

Para viabilizar a comparação, foram produzidos concretos com 0% (referência), 2%, 4% e 6% de pigmentos em relação à massa do cimento, conforme a ASMT C979/2016. Utilizaram-se pigmentos de óxido de ferro (vermelho e amarelo)

lo) e óxido de cromo (verde), totalizando 10 traços de concreto. As amostras seguiram o traço 1:2,37:2,57:0,42 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: água), baseado nos estudos de Piovesan (2009), Gonçalves (2018) e Consani (2022), com 0,57% de aditivo redutor de água tipo 2.

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

A Tabela 1 expõe as especificações dos materiais empregados na pesquisa, destacando o uso do CP branco. Em relação aos agregados, utilizou-se agregado miúdo natural de origem quartzosa e agregado graúdo de origem basáltica.

2.1.1 PIGMENTOS UTILIZADOS

Os pigmentos incorporados na mistura consistiram em pós sintéticos inorgânicos à base de óxido de ferro (vermelho e amarelo) e óxido de cromo (verde). A Tabela 2 apresenta as características físicas dos pigmentos utilizados nas dosagens dos concretos coloridos.

2.2 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

Os concretos foram produzidos visando uma resistência média de 30 MPa aos 28 dias. Os pigmentos foram adicionados após o cimento para garantir melhor dispersão na matriz (Coelho, 2001).

A Tabela 3 detalha os quantitativos de cada traço de concreto. Os pigmentos

TABELA 3

QUANTITATIVO DE MATERIAIS E NOMENCLATURA DOS TRAÇOS PRODUZIDOS

| Traço | Quantitativo de materiais | | | | |
|-------|---------------------------|----------|----------|--------|---------|
| | Cimento | Areia | Brita | Água | Aditivo |
| REF | | | | | 120g |
| A2% | | | | | 125,4g |
| A4% | | | | | 125,4g |
| A6% | | | | | 120g |
| B2% | 22,00 kg | 52,14 kg | 56,54 kg | 9,24 l | 125,4g |
| B4% | | | | | 120g |
| B6% | | | | | 125,4g |
| C2% | | | | | 125,4g |
| C4% | | | | | 125,4g |
| C6% | | | | | 125,4g |

Nota: A QUANTIDADE DE PIGMENTOS UTILIZADA NOS CONCRETOS FORAM DE 440g (2%), 880g (4%), E 1320g (6%)

TABELA 4

ENSAIOS TÉCNICOS REALIZADOS COM OS CONCRETOS PRODUZIDOS

| Ensaio | Método | Quantidade de CPs (por traço) |
|-----------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Slump test | NBR 16889 (ABNT, 2020) | 1 medição |
| Resistência à compressão | NBR 5739 (ABNT, 2018) | 6 |
| Resistência à tração na flexão | NBR 12142 (ABNT, 2010) | 3 |
| Absorção de água por capilaridade | NBR 9779 (ABNT, 2012) | 3 |
| Envelhecimento acelerado | NBR 15380 (ABNT, 2015) | 2 (análise em 200, 300 e 400h) |
| Colorimetria | NBR 16846 (ABNT, 2020) | 2 |

foram identificados por letras: A para óxido de ferro vermelho, B para óxido de ferro amarelo e C para óxido de cromo verde, junto com seus respectivos teores na dosagem.

2.3 MÉTODOS DE ENSAIO

Neste estudo, foram conduzidos ensaios para investigar o impacto da adição de pigmentos nas propriedades do concreto.

2.3.1 ENSAIOS TÉCNICOS NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO

A Tabela 4 apresenta os ensaios realizados para identificar as propriedades do concreto, detalhando o tipo de teste, as normas técnicas seguidas e a quantidade de amostras utilizadas.

A NBR 16846 (ABNT, 2020) baseia-se no sistema CIELAB para medir a cor com instrumentos, calculando a diferença total de cor (ΔE^*) e determinando a

percepção visual dessa diferença. A norma destaca que os valores de tolerância podem ser usados no controle de qualidade. A Tabela 5 ilustra os limites numéricos de percepção visual da diferença de cor total (ΔE^*), acompanhada da definição para cada alteração de cor, o qual foi empregado na pesquisa.

3. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos proporcionam uma compreensão abrangente sobre como os pigmentos afetam as características físicas, mecânicas e estéticas do concreto, evidenciando variações significativas em relação aos concretos não pigmentados, permitindo uma discussão das implicações práticas e as potenciais aplicações dos concretos pigmentados na construção civil.

Para os resultados no estado endurecido, foram realizadas análises estatísticas de variância (ANOVA), com intervalos

TABELA 5INTERPRETAÇÃO DE ΔE^* E AVALIAÇÃO NO CONCRETO

| Diferença de cor total (ΔE^*) | Percepção da mudança de cor |
|---|-----------------------------|
| $\leq 0,2$ | Não perceptível |
| $\geq 0,2$ e $< 0,5$ | Muito fraca |
| $\geq 0,5$ e $< 1,5$ | Fraca, porém perceptível |
| $\geq 1,5$ e $< 3,0$ | Perceptível |
| $\geq 3,0$ e $< 6,0$ | Muito perceptível |
| $\geq 6,0$ e $< 12,0$ | Forte |
| $12,0 \leq$ | Muito forte |

Fonte: Adaptado da NBR 16846 (ABNT, 2020)

lo de confiança de 95%, no qual foram considerados apenas os resultados dos concretos pigmentados.

3.1 Resultados do ensaio de abatimento de tronco de cone

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos no ensaio de abatimento de tronco de cone.

Com base nos resultados apresentados, notam-se variações nos abatimentos decorrentes dos diferentes percentuais do aditivo utilizado e dos tipos de pigmentos testados. Definiu-se que os resultados de abatimento de tronco de cone dos concretos estudados deveriam se enquadrar na faixa de classe S100, que exige abatimento entre 100 mm e 160 mm (ABNT NBR 16889, 2020).

TABELA 6

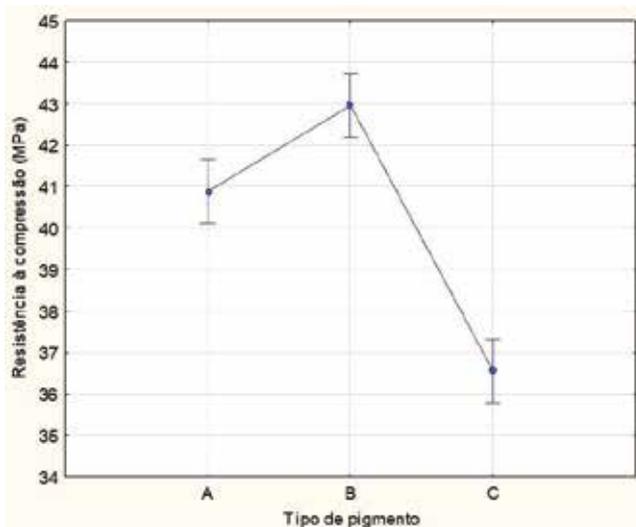
RESULTADOS DO ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE

| Traço | Abatimento (mm) |
|--------|-----------------|
| REF | 150 |
| A - 2% | 160 |
| A - 4% | 120 |
| A - 6% | 110 |
| B - 2% | 160 |
| B - 4% | 130 |
| B - 6% | 170 |
| C - 2% | 140 |
| C - 4% | 170 |

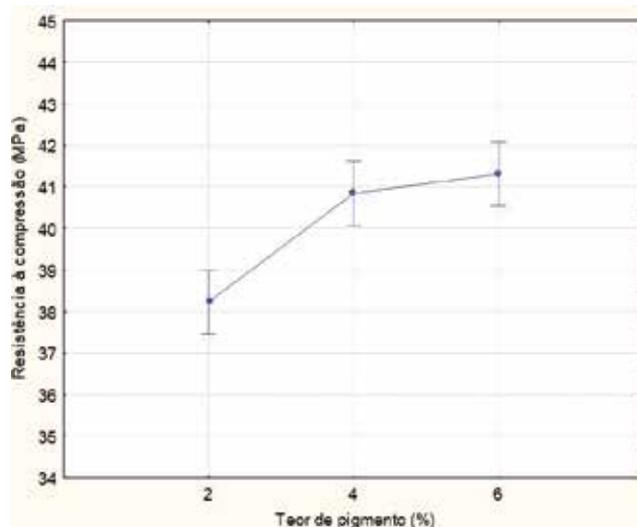
TABELA 7

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA E DO DESVIO PADRÃO, AOS 7 E 28 DIAS

| Traço | Resultados obtidos (MPa) | | | |
|--------|--------------------------|---------------|---------|---------------|
| | 7 dias | | 28 dias | |
| | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão |
| REF | 35,5 | 0,8 | 38,6 | 1,3 |
| A - 2% | 36,9 | 0,7 | 44,2 | 0,1 |
| A - 4% | 43,5 | 0,8 | 44,5 | 0,5 |
| A - 6% | 37,8 | 0,05 | 39,1 | 1,2 |
| B - 2% | 36,8 | 0,7 | 42,2 | 1,3 |
| B - 4% | 41,2 | 0,4 | 41,9 | 2,7 |
| B - 6% | 46,0 | 1,6 | 49,2 | 2,3 |
| C - 2% | 32,8 | 1,9 | 36,3 | 0,2 |
| C - 4% | 35,0 | 0,2 | 38,6 | 0,9 |
| C - 6% | 37,3 | 1,9 | 39,1 | 0,4 |



A



B

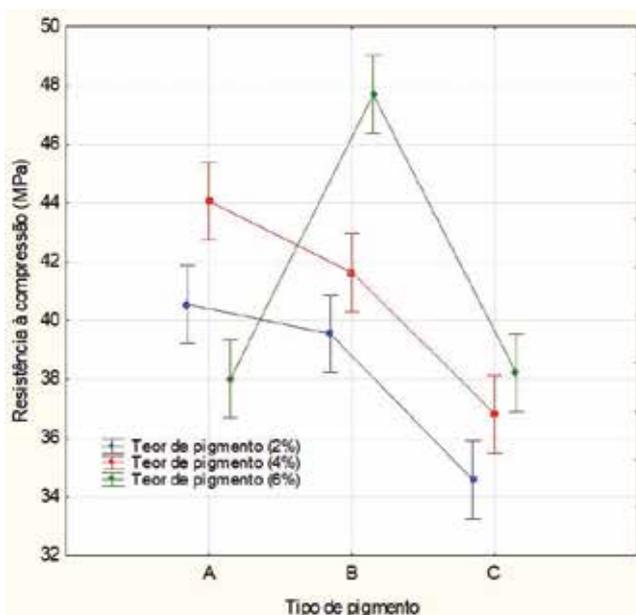
GRÁFICO 1

EFEITOS ISOLADOS SIGNIFICATIVOS FRENTE À RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO. (A) TIPO DE PIGMENTO; (B) TEOR DE PIGMENTO

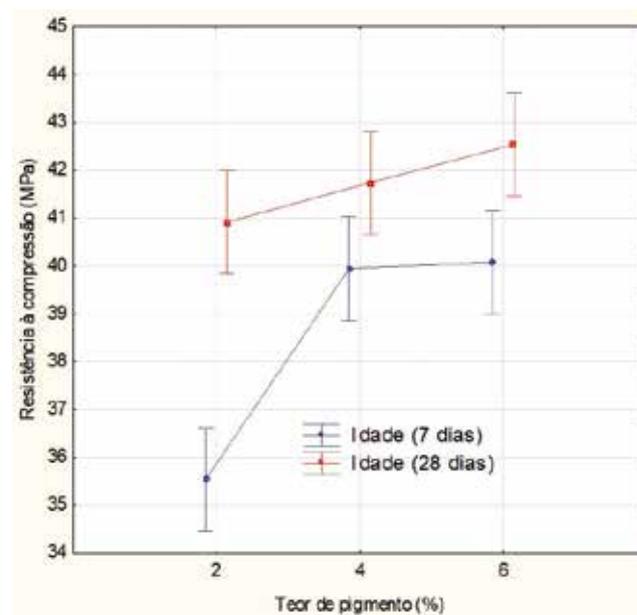
Na primeira moldagem, o abatimento dos concretos A6% (110 mm) e B4% (130 mm) esteve dentro do intervalo definido. No entanto, o volume de concreto foi insuficien-

te para atender ao número de CPs a serem moldados. Para aumentar a fluidez e o volume de concreto, foi necessário adicionar um maior volume de aditivo redutor de água do

tipo 2. Após este ajuste, o abatimento dos concretos coloridos variou entre 120 mm e 170 mm, evidenciando uma trabalhabilidade adequada dentro da faixa especificada.



A



B

GRÁFICO 2

EFEITOS DE 2ª ORDEM SIGNIFICATIVOS FRENTE À RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO. (A) TIPO DE PIGMENTO X TEOR DE PIGMENTO; (B) TEOR DE PIGMENTO X IDADE

TABELA 8

RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

| Traço | Média (MPa) | Desvio padrão (MPa) |
|--------|-------------|---------------------|
| REF | 4,4 | 0,51 |
| A - 2% | 4,3 | 0,15 |
| A - 4% | 4,8 | 0,20 |
| A - 6% | 3,7 | 0,11 |
| B - 2% | 5,0 | 0,05 |
| B - 4% | 4,2 | 0,14 |
| B - 6% | 4,7 | 0,15 |
| C - 2% | 4,2 | 0,03 |
| C - 4% | 4,7 | 0,05 |
| C - 6% | 4,0 | 0,19 |

3.2 Resultados de resistência à compressão

A Tabela 7 apresentam os resultados médios e o desvio padrão para os concretos estudados, aos 7 e 28 dias.

A análise da Tabela 7 revela que, aos 7 dias, o concreto com pigmento A-4% apresentou resistência média de 43,5 MPa, superior ao con-

creto de referência (36,6 MPa). Os concretos com pigmento B alcançaram resistências médias de 41,2 MPa (B-4%) e 46,0 MPa (B-6%), ambas superiores ao referência. Para os concretos com pigmento C, o destaque foi para o teor de 6%, que atingiu resistência média de 37,3 MPa.

Para a idade de 28 dias, a resistência à compressão segue uma tendência similar, com o traço A-4% atingindo uma resistência média de 44,5 MPa. O concreto B-6% se destaca ainda mais, alcançando uma resistência média de 49,2 MPa, evidenciando um elevado crescimento em comparação ao concreto de referência (40,4 MPa). Este comportamento sugere que o pigmento B auxilie positivamente no ganho de resistência mecânica. Os concretos com presença de pigmento C, por outro lado, não geraram ganhos tão evidentes na resistência à compressão, apresentando resultado médio de 39,1 MPa para o traço C-6%.

Os resultados estatísticos indicaram que os efeitos isolados de todas as variáveis avaliadas - tipo e teor de pigmento (%) e idade (dias) - foram significativos frente a resistência à compressão. Além

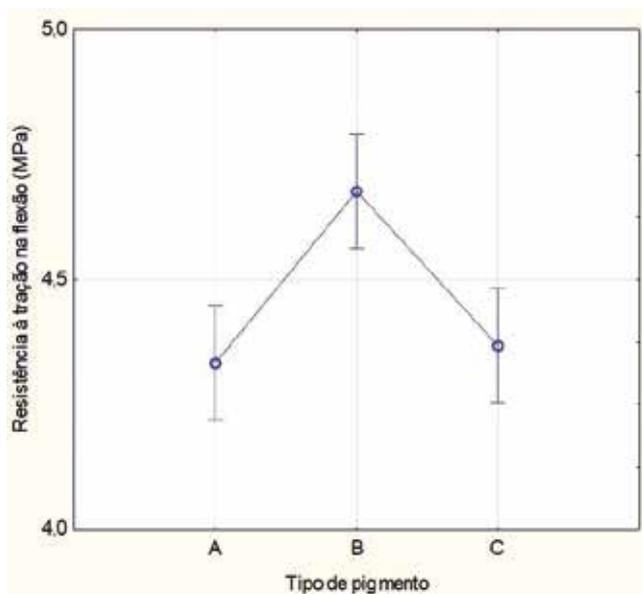
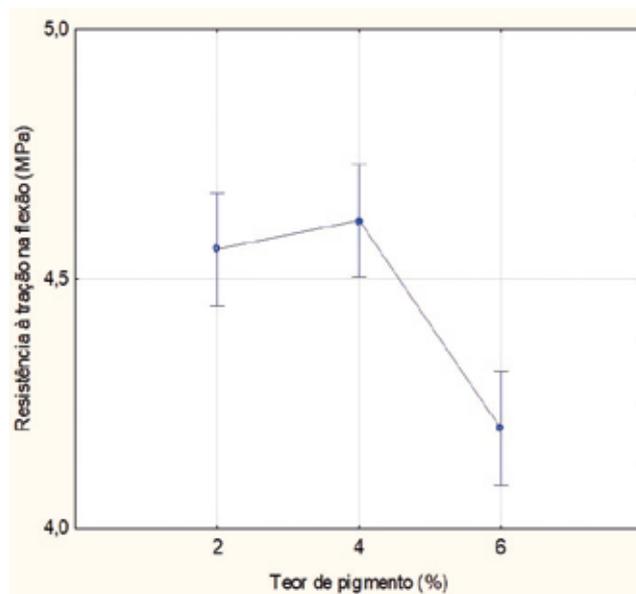
disso, as interações de segunda ordem entre tipo de pigmento e teor de pigmento (%), bem como entre teor de pigmento (%) e idade (dias), também mostraram significância estatística.

Nos gráficos 1(a) e 1(b), são apresentados os efeitos significativos das variáveis isoladas frente à resistência à compressão dos concretos pigmentados.

Analisando o gráfico 1(a), observa-se que os concretos com pigmentos A e B (óxido de ferro) superaram os resultados obtidos para os concretos com pigmento C (óxido de cromo). Observando o gráfico 1(b), nota-se que os teores que demonstraram maior eficiência em relação a essa propriedade foram de 4 e 6%.

Nos gráficos 2(a) e 2(b) são apresentados os efeitos significativos de 2ª ordem obtidos através da ANOVA realizada.

Ao analisar o gráfico 2(a), verifica-se que os concretos com pigmentos B e C destacam-se com o teor de 6%, onde a resistência dos concretos foi superior. Em contraste, para os concretos com o pigmento A, os teores mais eficientes para ganho de resistência foram os de 2% e 4%. Em relação ao gráfico 2(b), observa-se que, na idade de 7 dias, ocorreu

**A****B****GRÁFICO 3**

EFEITOS DE 1ª ORDEM SIGNIFICATIVOS FRENTE À RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO. (A) TIPO DE PIGMENTO; (B) TEOR DE PIGMENTO

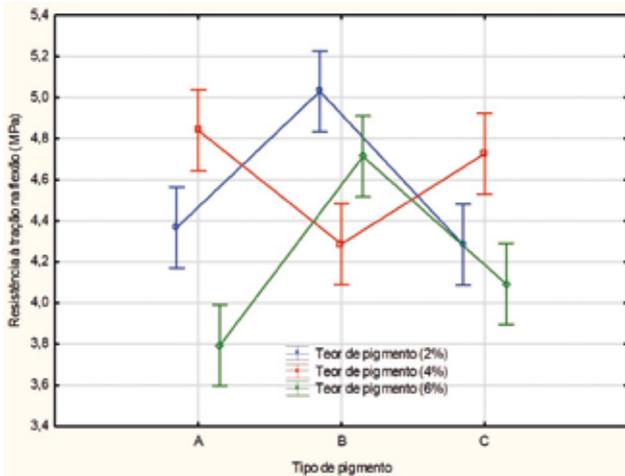


GRÁFICO 4

EFEITO SIGNIFICATIVO ENTRE O TIPO E O TEOR DE PIGMENTOS NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DOS CONCRETOS

um aumento significativo na resistência à compressão ao aumentar o teor de aditivo de 2% para 4%. No entanto, ao variar o teor de 4% para 6%, a resistência à compressão não apresentou diferença significativa. Em relação aos concretos com idade de 28 dias, os resultados entre 2 e 6% de teor de pigmentos apresentaram diferença significativa.

3.3 Resultados de resistência à tração na flexão

A Tabela 8 apresenta os resultados médios e o desvio padrão para os concretos produzidos, na idade de 28 dias.

TABELA 9

RESULTADOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

| Traço | Médios (g/cm ²) | Desvio padrão (g/cm ²) |
|--------|-----------------------------|------------------------------------|
| REF | 0,41 | 0,009 |
| A - 2% | 0,43 | 0,005 |
| A - 4% | 0,42 | 0,005 |
| A - 6% | 0,40 | 0,012 |
| B - 2% | 0,34 | 0,009 |
| B - 4% | 0,35 | 0,009 |
| B - 6% | 0,41 | 0,009 |
| C - 2% | 0,43 | 0,005 |
| C - 4% | 0,40 | 0,009 |
| C - 6% | 0,37 | 0,008 |

A Tabela 8 mostra que o concreto referência teve resistência média de 4,4 MPa. O concreto amarelo B-2% alcançou a maior resistência (5,0 MPa), seguido pelo vermelho com 4% de pigmento (4,8 MPa). O concreto com pigmento C a 4% apresentou resistência semelhante à referência (4,7 MPa). Os pigmentos A e B aumentaram a resistência à compressão, enquanto o pigmento C não afetou as propriedades mecânicas, mantendo desempenho similar ao concreto referência.

Com base nos resultados estatísticos, foi identificado que os efeitos isolados de todas as variáveis avaliadas foram significativos. Além disso, a interação de 2º ordem entre tipo e teor de pigmento também mostrou-se significativa.

Os gráficos 3(a) e 3(b) apre-

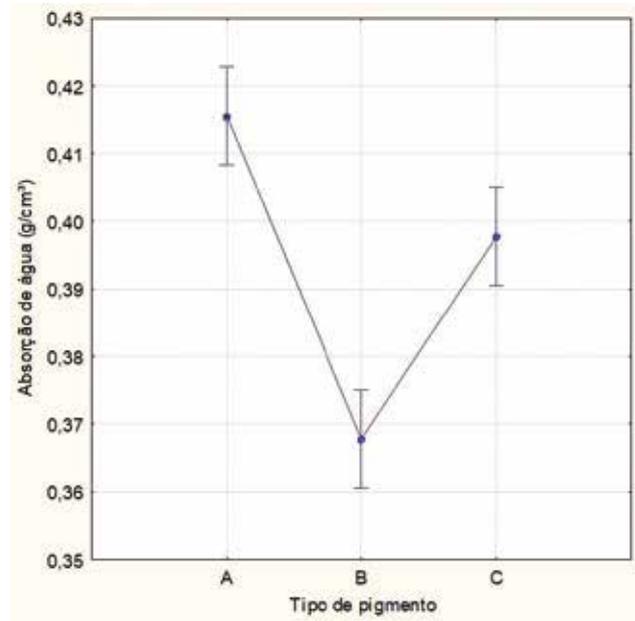


GRÁFICO 5

EFEITO ISOLADO DO TIPO DE PIGMENTO NA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DOS CONCRETOS

sentam, respectivamente, os efeitos isolados do tipo e do teor de pigmento na resistência à tração na flexão dos concretos estudados.

O gráfico 3(a) mostra que os concretos com pigmento amarelo (B) apresentaram resultados superiores em comparação aos demais pigmentos C. Por outro

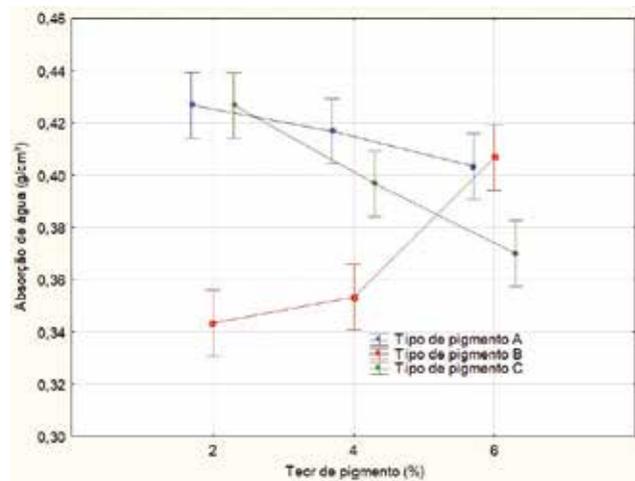


GRÁFICO 6

EFEITO DE 2º ORDEM ENTRE O TIPO E O TEOR DE PIGMENTO FRENTE À ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DOS CONCRETOS

TABELA 10

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA E COLORIMETRIA

| Concreto | Média ΔE | | | Percepção da diferença de cor para ΔE (400h) |
|----------|------------------|--------|--------|--|
| | (200h) | (300h) | (400h) | |
| Ref | 0,15 | 0,37 | 0,42 | Muito fraca |
| A - 2% | 0,66 | 0,97 | 1,35 | Fraca, porém perceptível |
| A - 4% | 0,78 | 1,04 | 1,39 | Fraca, porém perceptível |
| A - 6% | 0,26 | 0,38 | 0,49 | Muito fraca |
| B - 2% | 0,70 | 1,01 | 1,18 | Fraca, porém perceptível |
| B - 4% | 0,27 | 0,40 | 0,48 | Muito fraca |
| B - 6% | 0,23 | 0,36 | 0,47 | Muito fraca |
| C - 2% | 2,05 | 4,23 | 4,81 | Muito perceptível |
| C - 4% | 1,99 | 4,78 | 5,78 | Muito perceptível |
| C - 6% | 3,80 | 5,2 | 6,1 | Forte |

lado, os concretos com pigmentos A e C não exibiram diferenças significativas entre si. No gráfico 3(b), observa-se que os teores de 2% e 4% de pigmento não diferem significativamente, mas os concretos com 6% de pigmento apresentaram resultados inferiores, indicando um impacto negativo desse teor na propriedade analisada.

O gráfico 4 apresenta o efeito significativo de 2ª ordem entre o tipo e o teor de pigmento.

Ao avaliar o gráfico 4, observa-se que, para os pigmentos A e C, o teor de 4% mostra os maiores valores de resistência à tração na flexão. Já, para o pigmento B, o comportamento é invertido, onde o teor de 4% apresenta os menores resultados. No entanto, observa-se que o teor de pigmento aplicado é mais relevante do que o tipo, resultando em pequenos ganhos de resistência à tração na flexão, em média para os teores de 2 e 4%.

3.4 Resultados de absorção de água por capilaridade

A Tabela 9 apresenta os resultados de absorção de água por capilaridade médios e o desvio padrão dos concretos estudados.

A Tabela 9 mostra que a taxa média de absorção de água dos concretos é próxima a 0,40 g/cm², confirmando que os pigmentos de óxido de ferro e óxido de cromo não afetam significativamente a permeabilidade, confirmando os estudos de Piovesan (2009) e Consani (2022). No entanto, os concretos B-2% e B-4% apresentaram menores taxas de absorção (0,34 g/cm³ e 0,35 g/cm³), sugerindo menor porosidade. Por meio da análise estatística, o efeito isolado do

tipo de pigmento e o efeito de 2ª ordem entre o tipo e o teor de pigmento mostraram-se significativos. Nos gráficos 5 e 6, são apresentados tais efeitos significativos obtidos.

Ao analisar o gráfico 5, nota-se que os concretos com pigmento B apresentaram resultados significativamente inferiores, quando comparados aos demais concretos estudados. Já os concretos com presença do pigmento A foram os que apresentaram os piores resultados, diferindo de forma significativa dos demais resultados obtidos.

A análise do gráfico 6 permite observar que os concretos com pigmento B e teores de 2 e 4%, apresentam diferença significativa em relação aos resultados dos demais concretos, assim destacaram-se de forma positiva, apresentando absorção de água significativamente inferiores.

3.5 Resultados de resistência à radiação ultravioleta e colorimetria

A Tabela 10 apresenta os resultados médios e as determinações das alterações de cor dos concretos com a exposição em câmara ultravioleta nos períodos de 200h, 300h e 400h, com análise colorimétrica ao final de cada período.

No ensaio de colorimetria, o concreto de referência apresentou variação de cor mínima, com valores de ΔE^* muito fraca até 400 horas. Os concretos coloridos com pigmentos A e B mostraram variações ΔE^* moderadas, sem relevância significativa para o período analisado.

TABELA 11 A

AVALIAÇÃO VISUAL DOS CONCRETOS PIGMENTADOS

| Traço | Análise 200h | Análise 300h | Análise 400h com amostra referência |
|------------|--|---|---|
| Referência |  |  |  |
| |  |  |  |
| |  |  |  |
| A - 2% |  |  |  |
| |  |  |  |
| |  |  |  |
| A - 4% |  |  |  |
| |  |  |  |
| |  |  |  |
| A - 6% |  |  |  |
| | | | |
| | | | |

As amostras com pigmento A exibiram ΔE^* de “muito fraca” a “fraca, porém perceptível”, com menores variações para concentrações mais baixas. O pigmento B apresentou comportamento similar, com ΔE^* um pouco menor, especialmente a 6%, mas ainda classificado como “muito fraco”.

Entretanto, a presença do pigmento C causou variações cromáticas significativamente maiores. As amostras C-2% e C-4% apresentaram ΔE^* “muito perceptíveis”. A amostra C-6% teve o maior ΔE^* após 400 horas, sendo classificada como “forte” em percepção de diferença de cor. Esses resultados indicam que o pigmento

C gera variações cromáticas intensas sob radiação UV e é o menos recomendado para concreto aparente, devido ao desbotamento visível nos primeiros 12 meses de exposição natural.

Portanto, após a análise dos resultados obtidos, considera-se que os pigmentos mais adequados para utilização em construções de concreto aparente, sejam os pigmentos A e B na proporção de 4% e 6%, pois demonstraram maior resistência ao desbotamento no período de tempo analisado.

A Tabela 11 apresenta a avaliação visual dos concretos pigmentados produzidos, incluindo registros fotográficos das

duas amostras testadas na câmara UV nos intervalos de 200 horas e 300 horas. Na seção correspondente à análise de 400 horas, são exibidos o aspecto visual das amostras juntamente com a amostra de referência, que não foi submetida à câmara UV. Isso permite uma comparação visual entre as amostras, confirmando as diferenças de cor determinadas pelos cálculos de ΔE^* realizados.

4. CONCLUSÃO

O estudo sobre concreto pigmentado é crucial para o desenvolvimento de misturas que aprimoram tanto as propriedades do concreto quanto sua estética.

TABELA 11 B

AVALIAÇÃO VISUAL DOS CONCRETOS PIGMENTADOS

| Traço | Análise 200h | Análise 300h | Análise 400h com amostra referência |
|------------|---|---|---|
| Referência |  |  |  |
| |  |  |  |
| B - 2% |  |  |  |
| |  |  |  |
| B - 4% |  |  |  |
| |  |  |  |
| B - 6% |  |  |  |
| |  |  |  |

TABELA 11 C

AVALIAÇÃO VISUAL DOS CONCRETOS PIGMENTADOS

| Traço | Análise 200h | Análise 300h | Análise 400h com amostra referência |
|------------|--|---|---|
| Referência |  |  |  |
| |  |  |  |
| C - 2% |  |  |  |
| |  |  |  |
| C - 4% |  |  |  |
| |  |  |  |
| C - 6% |  |  |  |
| |  |  |  |

A adição de pigmentos químicos permite alterar a cor do concreto e melhorar suas características. Isso contribui para construções mais resistentes e visualmente atraentes, destacando o concreto pigmentado como um material de alto desempenho em projetos arquitetônicos e de engenharia civil.

O artigo revelou que os pigmentos químicos mudaram a consistência do concreto convencional, diminuindo \pm 30mm do abatimento do concreto convencional no estado fresco, sendo necessário um ajuste na quantidade de aditivo redutor de água do tipo 2 para os concretos pigmentados alcançarem o volume de concreto necessário para a realização completa do estudo.

Os pigmentos de óxido de ferro aumentam a resistência à compressão do concreto. O pigmento B proporcionou ganhos de 2 a 12 MPa em relação ao concreto de referência, enquanto o pigmento A teve um aumento mais modesto,

de 0,5 a 5 MPa. Ambos foram eficazes na melhoria dessa propriedade. Em contraste, o pigmento C mostrou uma tendência de redução na resistência à compressão, com os melhores resultados próximos ao concreto de referência e os piores apresentando uma diminuição de até 4 MPa.

Nos ensaios de tração na flexão com 28 dias de idade, o pigmento B-2% obteve a maior resistência média de 5,03 MPa. Os concretos com pigmentos A-4% e C-4% apresentaram aumentos moderados em relação ao concreto de referência, com resistências médias de 4,84 MPa e 4,73 MPa, respectivamente. Os resultados indicam que menores teores de pigmento são mais eficazes na melhoria dessa propriedade.

Nos ensaios de permeabilidade, os pigmentos A e C não alteraram significativamente a absorção de água, que se manteve em torno de 0,40 g/cm². Em contraste, os pigmentos B a 2% e 4% re-

duziram a absorção de água, indicando menor porosidade e, conseqüentemente, menor vulnerabilidade a agentes agressivos que poderiam danificar o concreto.

Os ensaios de colorimetria revelaram que os concretos com pigmentos A e B, especialmente nas concentrações de 4% e 6%, são ideais para concretos aparentes devido à alta resistência ao desbotamento. Ambos mantiveram sua coloração praticamente intacta durante a exposição máxima à radiação UV, com variações mínimas de ΔE^* . O pigmento B a 6% apresentou os menores valores de ΔE^* , indicando uma alteração “muito fraca” e excelente estabilidade cromática. Em contraste, o pigmento C mostrou variações significativas de ΔE^* , de “muito perceptível” a “forte” após 400 horas, evidenciando intensa variação cromática. Esses resultados confirmam que o pigmento de óxido de cromo (verde) não é recomendado para aplicações onde a estabilidade da cor é essencial. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASTM INTERNATIONAL. Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete. ASTM C979:2016. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15380: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais – Resistência à radiação UV e a condensação de água pelo ensaio acelerado. Rio de Janeiro, 2015.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16846: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da cor e da diferença de cor por medida instrumental. Rio de Janeiro, 2020.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.
- [10] COELHO, F. C. A. Variación del color y textura de hormigones vistos con adición de pigmentos inorgánicos, sometidos a distintos estados de exposición ambiental. Tese (Doutorado em Ingeniero de Caminos Canales y Puertos). Universidad Politécnica de Madrid, U. P. MADRID. Espanha, 2001.
- [10] CONSANI, Camila Pinheiro; Concreto Pigmentado: Técnica, Cromática e Durabilidade. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.
- [12] GONÇALVES, Deborah Priscilla Fontoura; Concreto pigmentado aparente: Recomendações para o processo de projeto arquitetônico. Dissertação (Graduação), Universidade de São Paulo. São Paulo (2019).
- [13] MENDONÇA, A.; ROCHA, R.; GOMES, R.; GOMES, A. L.; ASSIS NETO, P.; GURGEL, S. H. Avaliação da eficiência do uso do concreto colorido aplicado em paredes. Revista InterScientia, v. 6, n. 1, 2018.
- [14] PIOVESAN, Angela Zamboni. Estudo sobre a influência da adição de pigmentos em propriedades de durabilidade e na cromacidade do concreto de cimento Portland branco. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.